

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

NIXON CÉSAR DE ANDRADE

**“DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURA VERDE
UTILIZANDO A GRAMA *BRACHIARIA HUMIDICOLA* NA
CIDADE DE SÃO CARLOS-SP”.**

**SÃO CARLOS – SP
2007**

NIXON CÉSAR DE ANDRADE

**“DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURA VERDE
UTILIZANDO A GRAMA *BRACHIARIA HUMIDICOLA* NA
CIDADE DE SÃO CARLOS-SP”.**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Construção Civil da
Universidade Federal de São Carlos em
cumprimento às exigências para obtenção
do título de Mestre em Construção Civil.**

**Área de concentração:
Sistemas Construtivos de Edificações**

Orientador: Prof. Dr. Maurício Roriz

**SÃO CARLOS - SP
2007**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A553dt

Andrade, Nixon César de.

Desempenho térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria humidicola* na cidade de São Carlos-SP / Nixon César de Andrade. -- São Carlos : UFSCar, 2008.
110 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2007.

1. Cobertura verde. 2. Condicionamento Térmico. 3. Arquitetura Bioclimática. I. Título.

CDD: 697 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Via Washington Luís, Km 235 - CEP: 13.565-905 - São Carlos/SP/Brasil

Fone(16) 3351-8262- Ramal: 232 - Fax (16) 3351-8259

Site: www.ppgciv.ufscar.br

Email: ppgciv@power.ufscar.br

**"DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURA VERDE UTILIZANDO A GRAMA
BRACHIARIA HUMIDICOLA NA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP."**

NIXON CÉSAR DEANDRADE

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 22 de agosto de 2007

Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Maurício Roriz
Departamento de Engenharia Civil/PPGCIV/UFSCar
Orientador

Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos
Departamento de Estruturas e Construção Civil/PPGEC/UFSCar
Examinador Externo

Profª Drª Lucila Chebel Labaki
Departamento de Arquitetura e Construção Civil/PPGEC/UNICAMP
Examinadora Externa

“Devemos ter fé. Não existem esforços inúteis se empregados em prol do bem comum”.

Getúlio Vargas

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, Angela e Antonio, pelo apoio, confiança, incentivo, e presença nos momentos mais difíceis.

Ao professor Maurício Roriz, pela orientação, dedicação e ensinamentos fundamentais para a realização desta pesquisa.

Aos professores Joaquim Pizzutti dos Santos e Lucila Chebel Labaki, que aceitaram a participação nas bancas do exame de qualificação e da defesa da dissertação.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA/USP e à Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, que forneceram os dados da Estação Climatológica.

À professora Odete Rocha do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva da UFSCar, por permitir a utilização das edificações onde foi montado o experimento.

À secretária Solange Damha, pela atenção e presteza no atendimento aos alunos.

Ao professor Almir Sales, pela sua eficiência como coordenador do PPGCiv.

Aos demais que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ANDRADE, N. C. **Desempenho térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria humidicola* na cidade de São Carlos, SP.** 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2007.

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento térmico de uma cobertura ajardinada com a grama Braquiária (*Brachiaria humidicola*), que atinge 1m de altura, comparando-a com a de uma cobertura tradicional (laje exposta). Considerando-se os dados obtidos por meio de monitoramentos com aparelhos registradores de temperaturas e umidades relativas, em diferentes épocas do ano, analisou-se o comportamento térmico das coberturas tradicional e verde. Foram medidas as temperaturas do ar no interior e no exterior das células-teste e as superficiais internas de ambas as células. As temperaturas superficiais externas foram estimadas por programa computacional e os dados de radiação solar e velocidade do vento, necessários para a utilização desse programa, foram fornecidos pelo Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) e pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), ambos da Universidade de São Paulo (USP). Os resultados indicam que, submetida ao clima local, a cobertura ajardinada apresenta ótimo desempenho, particularmente por amortecer as temperaturas das superfícies externas e internas da cobertura. Nessa mesma célula-teste realizou-se recentemente uma pesquisa similar, mas que utilizou a grama Esmeralda (*Zoysia japonica*), uma vegetação rasteira. Comparando-se os resultados dos monitoramentos realizados, nos períodos de frio e calor, foram detectadas diferenças entre os comportamentos térmicos das duas gramas.

Palavras-chave: Coberturas Verdes, Estratégias Passivas de Condicionamento Térmico, Arquitetura Bioclimática.

ABSTRACT

ANDRADE, N. C. **Thermal performance of green roof using the *Brachiaria humidicola* grass in the city of São Carlos, SP**. 2007. 113 p. Dissertation (Master). Civil Engineering Department, Federal University of São Carlos, 2007.

This work aims to analyze the thermal behavior of a green roof with the Braquiária grass (*Brachiaria humidicola*), that reaches 1m height, comparing it with a traditional roof (concrete slab on show). Considering temperature and relative humidity data obtained through field measurements in different months, the thermal performance of the green and traditional roofs was analyzed. The inside and outside temperatures, and inside superficial of two test-cells were analyzed. The outside superficial temperatures were estimated through computation program and the solar radiation data and wind speed, necessities for the use of this program, were provided by the Water Resource and Applied Ecology Center (CRHEA,) and the Engineering School of São Carlos (EESC), both from the University of São Paulo (USP). The results indicate that, submitted to the local climate, the green roof presents optimum performance, particularly for decreasing the temperatures of external and internal roof surfaces. In the same test-cell it was recently realized a similar research, which used the Esmeralda grass (*Zoysia japonica*), a short vegetation. Comparing the measurement results for cold and hot periods, it was noticed differences between the thermal performance of the two grasses.

Keywords: Green Roofs, Passive Strategies of Thermal Conditioner, Bioclimatic Architecture.

SUMÁRIO

Agradecimentos	04
Resumo	05
Abstract	06
Sumário	07
Lista de Figuras	10
Lista de Tabelas	14
1. Introdução	16
1.1. Objetivos.....	17
1.1.1. Geral.....	17
1.1.2. Específicos.....	17
2. Revisão Bibliográfica	18
2.1. Vegetação e Processos de Troca de Calor.....	18
2.2. Definição de Coberturas Verdes.....	20
2.2.1. Composição.....	20
2.2.2. Tipos de cobertura verde.....	21
2.3. Histórico.....	22
2.4. Benefícios.....	22
2.4.1. escoamento de água pluvial.....	23
2.4.2. Qualidade do ambiente urbano.....	23
2.4.3. Isolamento térmico.....	25
2.5. Dificuldades para a difusão das coberturas verdes.....	33
2.6. Cálculo do comportamento térmico de coberturas verdes.....	35
2.6.1. Modelo para a estrutura.....	36
2.6.2. Modelo para o solo.....	36
2.6.3. Modelo para a vegetação.....	39
2.7. Amortecimento, Atraso e Diferença de temperatura entre médias.....	45
2.7.1. Amortecimento térmico (μ).....	45
2.7.2. Atraso térmico (φ).....	45
2.7.3. Diferença de temperatura entre médias (ΔT_{med}).....	46
2.8. O processo de evapotranspiração.....	46
3. Equipamentos e Métodos	49
3.1. As células-teste: laje tradicional e cobertura verde.....	49
3.2. Equipamento utilizado nos monitoramentos.....	53
3.3. Temperaturas Superficiais em Vegetação.....	55
3.4. Influência da posição do sol.....	56
3.5. Medições.....	57

3.6. Tratamento dos dados.....	59
3.7. Dia Médio.....	61
4. Resultados e Discussão.....	62
4.1. Medições realizadas no período de frio.....	62
4.1.1. Medição em Junho de 2006.....	62
4.1.1.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)..	63
4.1.1.1.1. Temperaturas Internas.....	63
4.1.1.1.2. Temperaturas Superficiais Internas.....	65
4.1.1.1.3. Temperaturas Superficiais Externas (estimadas).....	67
4.1.2. Medição em Julho/Agosto de 2006.....	69
4.1.2.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)..	70
4.1.2.1.1. Temperaturas Internas.....	70
4.1.2.1.2. Temperaturas Superficiais Internas.....	73
4.1.2.1.3. Temperaturas Superficiais Externas (estimadas).....	75
4.2. Medições realizadas no período de calor.....	77
4.2.1. Medição em Novembro de 2006.....	77
4.2.1.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)..	78
4.2.1.1.1. Temperaturas Internas.....	78
4.2.1.1.2. Temperaturas Superficiais Internas.....	80
4.2.1.1.3. Temperaturas Superficiais Externas (estimadas).....	82
4.2.2. Medição em Março de 2007.....	84
4.2.2.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)..	85
4.2.2.1.1. Temperaturas Internas.....	85
4.2.2.1.2. Temperaturas Superficiais Internas.....	88
4.2.2.1.3. Temperaturas Superficiais Externas (estimadas).....	90
4.3. Comparação com a grama Esmeralda.....	92
4.3.1. Medições realizadas no período de frio.....	92
4.3.2. Medições realizadas no período de calor.....	95
4.3.3. Amortecimento térmico.....	99
4.3.4. Diferença de temperatura entre médias.....	100
4.3.5. Atraso térmico.....	101
4.3.6. Razão entre amplitudes e diferença entre médias.....	101
5. Conclusões.....	103
5.1. Medições realizadas no período de frio.....	103

5.2. Medições realizadas no período de calor.....	103
5.3. Comparação entre as gramas Braquiária e Esmeralda.....	104
6. Referências Bibliográficas.....	105
Anexo A - Tabela A.1: Exemplo de arquivo de dados do programa Jardim 1.1.....	111
Anexo B - Tabela B.1: Exemplo de arquivo de dados do programa Psicon 1.0.....	112
Anexo C - Exemplo de arquivo de dados baseado na formulação desenvolvida por Del Barrio (1998).....	113

LISTA DE FIGURAS

2.1: Camadas componentes de uma cobertura verde.....	20
2.2: Evolução das temperaturas superficiais externas e internas em cobertura verde e laje exposta durante os períodos de verão e inverno.....	26
2.3: Temperaturas superficiais externas com diferentes tipos de cobertura em uma edificação comercial em Singapura.....	28
2.4: Comparação entre os valores médios das temperaturas superficiais internas da laje comum (LC) e da grama (CV) em situação de inverno (esquerda) e verão (direita).....	31
2.5: Centro Universitário de Manchester, Inglaterra.....	34
2.6: Residência ajardinada em Chester, Inglaterra.....	34
2.7: Residência próxima ao Lago Zurich, Suíça.....	34
2.8: Edifício residencial, Singapura.....	34
2.9: Aeroporto Internacional Schiphol em Amsterdam, Holanda.....	34
2.10: Edifício residencial em Berlim, Alemanha.....	34
2.11: Esboço de uma cobertura verde.....	35
2.12: Esquema simplificado das resistências superficial e aerodinâmica.....	48
3.1: Localização da cidade de São Carlos.....	49
3.2: Localização das células-teste na UFSCar.....	50
3.3: Fachada frontal da edificação na UFSCar.....	50
3.4: Fachada posterior da edificação na UFSCar.....	50
3.5: Projeto de construção da célula-teste com cobertura verde.....	51
3.6: Panorama dos canteiros com as gramas Esmeralda (direita) e Braquiária (esquerda).....	52
3.7: Retirada da grama Esmeralda.....	53
3.8: Colocação da grama Braquiária.....	53
3.9: Aparelho HOBO [®] posicionado em recipiente de alumínio.....	54
3.10: Ponteiro metálico preenchido com pasta térmica e fixado na laje com fita adesiva e fio de nylon.....	55
3.11: Posição do sol durante as medições em junho e julho / agosto de 2006.....	57
3.12: Posição do sol durante as medições em novembro de 2006 e março de 2007.....	57
3.13: Recipiente de alumínio que armazena o HOBO [®] para medições internas.....	58
3.14: Recipiente de alumínio que armazena o HOBO [®] para medições externas....	58
3.15: Aspecto da grama nas medições em junho e julho / agosto de 2006.....	59
3.16: Aspecto da grama nas medições em novembro de 2006 e março de 2007...	59
4.1: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em junho de 2006.....	62
4.2: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 18 a 23 de junho de 2006.....	63
4.3: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em junho de 2006.....	63
4.4: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em junho de 2006.....	64

4.5: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em junho de 2006.....	65
4.6: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em junho de 2006.....	65
4.7: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em junho de 2006.....	66
4.8: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em junho de 2006....	67
4.9: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em junho de 2006.....	67
4.10: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em junho de 2006.....	68
4.11: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas estimadas da laje tradicional e cobertura verde durante a medição em junho de 2006.....	69
4.12: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em julho/agosto de 2006.....	70
4.13: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 25 a 30 de julho de 2006.....	70
4.14: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	71
4.15: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	72
4.16: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	72
4.17: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	73
4.18: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	74
4.19: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	74
4.20: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	75
4.21: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	76
4.22: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas da laje tradicional e cobertura verde estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006.....	76
4.23: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em novembro de 2006.....	77

4.24: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 17 a 23 de novembro de 2006.....	78
4.25: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em novembro de 2006.....	78
4.26: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em novembro de 2006.....	79
4.27: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em novembro de 2006.....	80
4.28: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em novembro de 2006.....	80
4.29: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em novembro de 2006.....	81
4.30: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em novembro de 2006.....	82
4.31: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em novembro de 2006.....	82
4.32: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em novembro de 2006.....	83
4.33: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas da laje tradicional e cobertura verde estimadas durante a medição em novembro de 2006.....	84
4.34: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em março de 2007.....	85
4.35: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 16 a 29 de março de 2007.....	85
4.36: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em março de 2007.....	86
4.37: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em março de 2007.....	87
4.38: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em março de 2007...	87
4.39: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em março de 2007.....	88
4.40: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em março de 2007.....	89
4.41: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em março de 2007...	89
4.42: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição de março em 2007.....	90

4.43: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em março de 2007.....	91
4.44: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas da laje tradicional e cobertura verde estimadas durante a medição em março de 2007.....	91
4.45: Dia Médio: comparação entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita).....	92
4.46: Dia Médio: comparação entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita).....	93
4.47: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e do ar interno da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	93
4.48: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e das superficiais internas da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	94
4.49: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar interno das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	94
4.50: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas superficiais internas das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	95
4.51: Dia Médio: comparação entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita).....	96
4.52: Dia Médio: comparação entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita).....	96
4.53: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e do ar interno da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	97
4.54: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e das superficiais internas da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	97
4.55: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar interno das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	98
4.56: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas superficiais internas das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	98

LISTA DE TABELAS

2.1: Variação de temperaturas internas de uma edificação na cidade de Legnano (Itália).....	27
2.2: Temperaturas superficiais externas em diferentes coberturas de uma célula-teste montada em Gales.....	29
2.3: Diferenças entre as temperaturas superficiais externas de diferentes coberturas de uma célula-teste montada em Gales.....	29
2.4: Temperaturas superficiais externas máximas das diferentes coberturas desenvolvidas em uma célula-teste em Toronto.....	32
2.5: Valores de K_f em função da posição da folha.....	40
3.1: Variáveis calculadas pelo programa Jardim 1.1.....	56
3.2: Períodos em que foram realizadas as medições.....	58
4.1: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em junho de 2006.....	62
4.2: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em junho de 2006, bem como a diferença entre elas.....	64
4.3: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em junho de 2006, bem como a diferença entre elas.....	66
4.4: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em junho de 2006, bem como a diferença entre elas.....	68
4.5: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em julho/agosto de 2006.....	69
4.6: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em julho/agosto de 2006, bem como a diferença entre elas.....	71
4.7: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em julho/agosto de 2006, bem como a diferença entre elas.....	73
4.8: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006, bem como a diferença entre elas.....	75
4.9: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em novembro de 2006.....	77
4.10: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em novembro de 2006, bem como a diferença entre elas.....	79
4.11: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em novembro de 2006, bem como a diferença entre elas....	81
4.12: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em novembro de 2006, bem como a diferença entre elas....	83
4.13: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em março de 2007.....	84
4.14: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em março de 2007, bem como a diferença entre elas.....	86

4.15: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em março de 2007, bem como a diferença entre elas.....	88
4.16: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em março de 2007, bem como a diferença entre elas.....	90
4.17: Amortecimento térmico (em %) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	99
4.18: Amortecimento térmico (em %) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	99
4.19: Diferença de temperatura entre médias (em °C) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	100
4.20: Diferença de temperatura entre médias (em °C) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	100
4.21: Atraso térmico (em h) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	101
4.22: Atraso térmico (em h) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	101
4.23: Razão entre a amplitude e Diferença entre a média das temperaturas da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	102
4.24: Razão entre a amplitude e Diferença entre a média das temperaturas da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda.....	102
A.1: Exemplo de arquivo de dados do programa Jardim 1.1.....	111
B.1: Exemplo de arquivo de dados do programa Psicron 1.0.....	112

1. INTRODUÇÃO

Segundo Rivero (1985), a cobertura de uma edificação é geralmente uma vedação opaca, que constitui a maior parcela da envolvente do espaço interno sobre a qual incidem os agentes térmicos do clima, e por isso, diversas soluções construtivas de coberturas são utilizadas por engenheiros e arquitetos para amenizar os problemas quanto ao conforto térmico da habitação.

O aumento da resistência térmica de uma cobertura se impõe como uma medida de prioridade e pode solucionar parte do problema, pois a absorção da radiação solar pela cobertura, com a conseqüente transferência de calor aos seus elementos constituintes pode originar facilmente temperaturas elevadas.

Em regiões e estações frias, o efeito da cobertura nas condições ambientais internas depende quantitativamente de sua resistência térmica, e em ambientes com temperaturas elevadas, acredita-se que, na maioria dos casos, a cobertura foi incorretamente projetada (GIVONI, 1976).

As chamadas coberturas verdes (com vegetação) podem constituir alternativas viáveis para minimizar as altas temperaturas do interior das edificações, provocadas pela radiação solar excessiva, além de auxiliar as cidades a controlar inundações (através da absorção de água pelo solo), melhorar a qualidade do ar, prolongar a durabilidade da cobertura e reduzir custos de energia.

Devido a esses benefícios, as coberturas ajardinadas estão crescendo em países desenvolvidos como Canadá e Estados Unidos, mas tal tecnologia está mais adiantada nos países europeus como a Alemanha, onde há relatos de que foram identificadas grandes quantidades dessas coberturas nos últimos anos.

Este trabalho avaliou o comportamento térmico de uma cobertura verde com a grama *Brachiaria humidicola* (grama Braquiária) em uma célula-teste existente no Departamento de Ecologia da Universidade Federal de São Carlos, na qual já foi realizada uma pesquisa semelhante com a grama *Zoysia japonica* (grama Esmeralda), submetida ao clima da região de São Carlos, em situação de frio e calor (MORAIS, 2004). Para tanto, foram monitoradas duas lajes de coberturas com e sem vegetação, procurando-se obter dados de seus comportamentos térmicos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar o comportamento térmico de uma cobertura verde com a grama *Brachiaria humidicola* (grama Braquiária).

1.1.2. Específicos

Identificar as variáveis climáticas que mais interferem no comportamento dos sistemas de cobertura analisados;

Verificar as diferenças entre as temperaturas da cobertura verde e da laje tradicional;

Estudar as características técnicas das coberturas analisadas e seus efeitos sobre as temperaturas internas;

Verificar as diferenças entre as temperaturas da laje com a grama Braquiária e com a grama Esmeralda;

Contribuir para a difusão desse sistema de cobertura no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Vegetação e Processos de Troca de Calor

Segundo Larcher (2000), toda a vida na Terra é mantida por um fluxo de energia proveniente do Sol e que passa pela biosfera. Para os vegetais a radiação não é somente uma fonte de energia (efeito fotoenergético), mas também um estímulo governando o condicionamento do desenvolvimento (efeito fotocibernético) e às vezes funciona como um fator estressante (efeito fotodestrutivo).

Em um determinado local na superfície terrestre, a energia radiante depende da posição relativa entre o Sol e a Terra, sendo muito dependente dos movimentos de rotação e translação da Terra, os quais impõem um ritmo climático periódico. A radiação solar controla muitos processos do desenvolvimento vegetal, agindo como um sinal para, por exemplo, a germinação, o crescimento direcionado e a forma externa da planta.

Uma camada vegetal fechada funciona como um sistema de assimilação, no qual as camadas de folhas estão sobrepostas e se sombreiam mutuamente. A cada profundidade dessa camada, a radiação que penetra é interceptada e utilizada gradualmente, estando quase totalmente absorvida próximo à superfície do solo.

Em florestas com copas fechadas e folhagem densa, a radiação é fortemente absorvida na parte superior da copa e chega somente uma pequena parte à altura do tronco e ao solo. Nestas florestas, a atenuação da radiação é semelhante ou mais abrupta em relação a herbáceas dicotiledôneas (vegetais que apresentam duas folhas quando germinam e morrem após darem frutos). Florestas compostas por espécies arbóreas com copas pouco densas apresentam, por outro lado, uma atenuação da radiação semelhante à comunidade de gramíneas. Na agricultura e horticultura, a distância entre as plantas e a densidade de cobertura vegetal determinam a atenuação da radiação. Controlando o espaçamento entre as plantas, é possível obter uma melhor e mais uniforme absorção da radiação.

A radiação está inserida no fator ambiental clima, o qual determina as condições para o crescimento da planta e sua área de distribuição e impõe limites para sua sobrevivência. Há uma correspondência em larga escala entre as zonas climáticas, a distribuição dos tipos vegetacionais e dos tipos de solo existentes.

Em uma escala menor, há também correspondência entre a distribuição das espécies e das comunidades vegetais em função das condições locais. De uma maneira geral, as plantas ocupam o habitat mais apropriado para os seus requerimentos específicos. Em microclimas favoráveis (uma encosta quente em região de clima frio, baixadas úmidas em regiões secas), as espécies vegetais

podem ultrapassar suas áreas principais de distribuição, procurando desenvolver-se em ambientes que atendam às suas necessidades fisiológicas.

A absorção de energia da radiação incidente, o calor armazenado, o calor perdido pela convecção e a retirada do calor latente pela evaporação regulam o balanço de calor da planta. Embora a planta seja um organismo heterotérmico, sua temperatura não é exatamente igual à de seu ambiente. Sob forte radiação, a planta é envolvida por uma camada fina de ar superficial. O vento retira essa camada de ar deixando somente uma lâmina de poucos milímetros acima da superfície da planta e acelera, assim a troca de calor. As trocas de calor por convecção ocorrem com mais eficiência quanto menor e mais recortada for a folha e quanto maior for a velocidade do vento.

Por meio do controle da transpiração, as plantas podem exercer influência sobre as trocas de energia com o ambiente. O resfriamento pela evaporação é especialmente eficiente nas condições de baixa umidade e vento, contanto que a planta esteja suficientemente abastecida com água para manter uma alta taxa transpiracional. A velocidade do vento é diminuída ao redor e dentro da copa das árvores, dos arbustos e dos tufo de gramíneas, sendo o perfil do vento caracteristicamente alterado.

A temperatura do solo varia em pequenas distâncias em função de sua condutividade térmica e do tipo de vegetação. Sob uma camada vegetal esparsa o solo se aquece dependendo de sua cor, de seu conteúdo de água e de ar e de sua estrutura. Um solo não compacto, rico em ar, se aquece superficialmente, já um solo compacto e úmido conduz calor até camadas mais profundas. No decorrer da noite, a superfície do solo se resfria e o fluxo de calor no solo se inverte. Portanto, o solo funciona como um estabilizador do balanço térmico de um local (enquanto, durante o dia, o solo absorve uma quantidade de calor considerável, durante a noite ele a perde). Em locais com climas sazonais, a variação da temperatura no curso do ano se sobrepõe à variação da temperatura no curso do dia, mesmo nas camadas mais profundas, em razão dos períodos de insolação e resfriamento serem maiores.

Sob uma vegetação densa, o solo é protegido contra uma forte radiação e também contra a perda de radiação térmica. A cobertura por neve também cria uma estabilidade na temperatura do solo sob um metro de neve, a temperatura das plantas e das camadas superiores do solo não se distancia de 0°C.

Santamouris *et al.* (2001), pesquisaram o impacto da vegetação no consumo de energia em edificações, concluindo que a plantação de 100 milhões de árvores poderia reduzir o uso da eletricidade em 50 bilhões kWh por ano, que é equivalente a 2% do uso de eletricidade anual nos Estados Unidos, e reduzir a carga de CO₂ presente na atmosfera que chega a 35 milhões de toneladas por ano. As sombras

das árvores, então, contribuem para o decréscimo significativo de energia utilizada para o resfriamento artificial. Uma edificação sombreada tem sua temperatura superficial externa estabilizada e assim o conforto no interior da edificação é melhorado. Isso mostra a contribuição das áreas verdes na economia de energia, resultando em valores bastante significativos.

2.2. Definição de Coberturas Verdes

Em geral, cobertura verde é um sistema formado por camadas contínuas de solo e vegetação construído sobre uma cobertura tradicional (HENDERSON, 2003).

2.2.1. Composição

As coberturas verdes são formadas, basicamente, pelos seguintes componentes (Figura 2.1):

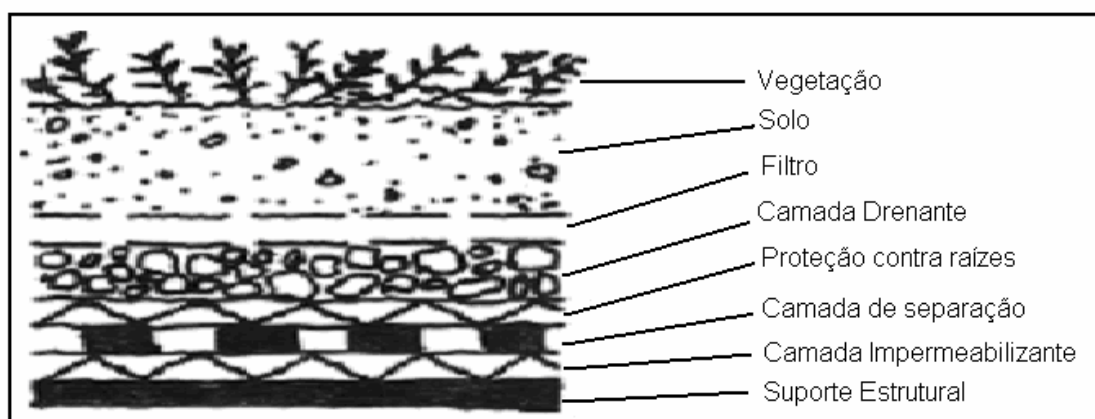


Figura 2.1: Camadas componentes de uma cobertura verde

Fonte: NGAN, 2004

Vegetação: A escolha da espécie dependerá do tipo de solo, estrutura de suporte e principalmente do clima local que influenciará em sua manutenção (período de irrigação).

Solo: Para obter uma boa drenagem, ele deverá ser composto de uma mistura de terra vegetal, aditivo mineral (areia fina lavada) e aditivo orgânico (húmus), variando-se sua espessura de acordo com a espécie vegetal escolhida.

Filtro: Utiliza-se uma manta geotêxtil de aproximadamente 150g/m² para evitar que a água pluvial ou da irrigação arraste as partículas de solo.

Camada drenante: É importante porque retira o excesso de água do solo e pode ser constituída por brita, argila expandida ou seixo rolado. Sua espessura depende da espessura da camada de solo.

Camada de proteção: Sua função é proteger a estrutura de apoio para o sistema contra raízes, sendo aplicada sobre a camada de impermeabilização.

Camada de separação: Funciona como um isolante térmico, sendo escolhido em função da transmitância térmica.

Camada impermeabilizante: Sua função é proteger o suporte estrutural contra infiltrações e é formado por materiais betuminosos ou sintéticos.

Suporte estrutural: Geralmente são utilizadas lajes e deve resistir às cargas dos componentes que formam o sistema, da água e da circulação de pessoas ou equipamentos de manutenção.

Segundo Dunnett e Kingsbury (2003), muitos pesquisadores têm realizado na Alemanha uma apropriada mistura de plantas para coberturas verdes, sendo que as espécies mais utilizadas são: *Achillea millefolium*, *Dianthus deltoids*, *Hieracium pilosella*, *Sedum album e cultivaris* e *Sedum reflexum*. Entretanto, a mistura de plantas não pode ser aplicada com o uso de vegetação em mantas, pois estas espécies oferecem pouca flexibilidade.

2.2.2. Tipos de cobertura verde

Conforme o seu porte, as coberturas verdes podem ser classificadas em:

Intensivas: caracterizam-se por terem camadas de solo maiores que 20cm; plantas, arbustos e árvores de médio e grande porte, que exigem um ambiente de desenvolvimento mais complexo, estrutura reforçada (devido às cargas entre 700 e 1200kg/m²) e manutenção rigorosa (CORREA e GONZALEZ, 2002).

Extensivas: caracterizam-se por terem uma camada mais delgada de solo, com espessura entre 8 e 12cm e carga média equivalente a 100kg/m², plantas de pequeno porte, como as autóctones, por serem mais resistentes a pouca ou nenhuma manutenção (CORREA e GONZALEZ, 2002).

2.3. Histórico

As coberturas ajardinadas constituem antigas construções realizadas pelo homem.

Uma das coberturas verdes mais famosas da civilização antiga são os Jardins Suspensos da Babilônia construídos pelo rei Nabucodonossor no ano de 450 a.C.

Durante o Império Romano e na Idade Média essas coberturas foram usadas pela alta sociedade para mostrar seu poder e a extravagância em que viviam (KOPPÁNY, s/d).

Por causa de seus notáveis benefícios e estética natural, as coberturas verdes têm sido usadas por centenas de anos na Escandinávia, e espalharam-se por toda a Europa, principalmente na Alemanha onde ocorreu um grande desenvolvimento desde 1960 (HENDERSON, 2003).

Nos tempos modernos e especialmente na arquitetura do século 20, elas foram tratadas como um fenômeno natural, recebendo uma implementação especial na arquitetura nativa da Europa Setentrional em sua tradição de coberturas verdes inclinadas (KOPPÁNY, s/d).

Atualmente, com a densa população das áreas urbanas, há uma preocupação ao longo das últimas décadas em conservar as áreas verdes. Entretanto, é difícil estabelecer o desenvolvimento técnico-metodológico para coberturas verdes, em algumas regiões, tornando-se impossível a sua divulgação.

O conceito de cobertura verde intensiva foi introduzido na Europa no final dos anos 70, e o de cobertura verde extensiva durante os últimos 20 anos, sendo que ambas colaboram para o estabelecimento de cidades ecologicamente planejadas.

Nos últimos 15 anos houve a criação desses dois tipos de coberturas na Europa utilizando materiais resistentes ao calor excessivo, sendo possível projetar coberturas verdes com diferentes camadas e materiais, as quais podem ser encontradas na Alemanha, Áustria e Suíça.

2.4. Benefícios

VanWoert *et al.* (2005), verificaram através de três células-teste montadas na Universidade de Michigan em Detroit, que além das coberturas protegerem as construções da insolação, diminuindo assim o consumo de energia, elas aumentam a vida útil de uma cobertura protegendo seus componentes das danificações dos raios ultravioletas, temperaturas extremas e rápidas oscilações de temperatura, filtram os poluentes atmosféricos prejudiciais, promovem maior estética favorecendo

o ambiente à vida e trabalho, têm potencial para reduzir o efeito urbano “ilha de calor” e ainda auxiliam na retenção de águas pluviais.

2.4.1. escoamento de água pluvial

Villarreal e Bengtsson (2004), relataram em sua pesquisa as novas práticas de gerenciamento de construções para resolver o problema de enchentes no subúrbio de Augustenburg (Suécia), estabelecendo coberturas verdes e abertura de canais (para absorção e escoamento de água pluvial). Entretanto, no verão há chuvas de alta intensidade e a capacidade de retenção é de 10mm. Desta maneira, enquanto as coberturas verdes são eficientes para reduzir volumes típicos de água pluvial, elas não são capazes de reter excedentes, necessitando então, de trabalhar em conjunto com canaletas.

Villarreal e Benetsson (2005), pesquisaram a relação entre a declividade de uma cobertura verde e o escoamento de água pluvial, através de uma célula-teste montada na Universidade de Lund (Suécia), utilizando a espécie *Sedum álbum*. Os experimentos sugeriram que a declividade influencia na retenção de água, pois para uma intensidade de 0.4mm/min, 62, 43, e 39% do total de precipitação foram retidos na cobertura verde tendo inclinação de 2°, 8° e 14°, respectivamente. As correspondentes retenções para uma precipitação de 0.8mm/min foram 54, 30 e 21%; e para uma chuva de 1.3mm/min, 21 e 10% foram retidos por 2° e 14°. Nota-se que para as precipitações analisadas, a retenção diminui à medida que a inclinação aumenta e a retenção é maior para chuvas com baixa intensidade. Para outros tipos de coberturas verdes, os dados utilizados nessa análise podem ser empregados novamente para verificar a existência de diferentes resultados.

2.4.2. Qualidade do ambiente urbano

Hui e Law (2002), realizaram um estudo para melhorar a eficiência energética nos escritórios da cidade de Hong Kong, promovendo a implantação de coberturas verdes e a projeção do telhado sobre as janelas, reduzindo o consumo de energia em 9.6 KWh/m².

Boscoe (2003), pesquisou os benefícios das coberturas verdes para aliviar as elevadas temperaturas em locais com alta densidade urbana. Para isso, sete estudos de caso foram realizados na Inglaterra através de uma série de entrevistas com pessoas envolvidas na indústria da cobertura verde britânica e funcionários ligados à autoridade ecológica local. A pesquisa concluiu que um grande número dessas coberturas resolveria não apenas o problema das “ilhas” de calor, mas também reduziria a temperatura no interior das edificações e o consumo de energia, além de estimular a criação de projetos inovadores (figuras 2.5 e 2.6).

Schmidt (2003), desenvolveu um estudo em Berlin para amenizar as altas temperaturas de verão dessa cidade. Baseado no mecanismo da evapotranspiração, em que áreas verdes consomem 86% da radiação solar nesse processo, realizou medições em coberturas verdes e concluiu que tais coberturas consomem 58% da radiação no mesmo processo. No verão, as coberturas verdes seriam uma solução para temperaturas elevadas, promovendo a climatização de ambientes e a economia de energia, além de reter água, a qual, ao evaporar aumentaria a umidade do ar.

Sutic (2003), incentivou a implantação de coberturas verdes na cidade de Waterloo, tendo como principal objetivo a diminuição da “ilha” urbana de calor, pois sendo uma cidade com pequenas dimensões e baixo número de habitantes, uma área de 26 mil m² de coberturas verdes resultaria em uma notável redução de 1°C a 2°C na temperatura local, e conseqüentemente aumentaria a eficiência energética, diminuindo o consumo de energia.

Gedge e Frith (2004), relataram que as coberturas verdes funcionam como uma barreira contra ondas sonoras, as quais são absorvidas, refletidas ou desviadas, sendo importantes em áreas com alta poluição sonora, como nas proximidades de aeroportos. Além disso, elas beneficiam a saúde humana, pois pessoas que vivem em ambientes com vegetação, estão menos propensas a adquirir doenças físicas e psicológicas.

Grabski (2005), sugeriu a implantação de coberturas ajardinadas em cidades de Oregon (EUA), para diminuir as altas temperaturas dessa região. Entretanto, deve-se ter cautela para escolher as plantas, pois elas devem resistir ao calor e à umidade nos períodos chuvosos, além da necessidade da cobertura possuir um bom sistema de drenagem.

Happe (2005), relatou que as coberturas ajardinadas não podem ser vistas como substitutas de áreas verdes naturais, mas as complementam no ambiente urbano, oferecendo habitat para pássaros e insetos, além de filtrarem as partículas e gases tóxicos presentes na atmosfera (figuras 2.7 e 2.8).

Vujovic e Ogurek (2005), observaram que nos Estados Unidos há altos gastos com energia para climatização de ambientes, sendo que esse problema poderia ser resolvido com o aumento de áreas verdes, as quais encontram-se cada vez mais escassas nesse país. Uma solução proposta foi a implantação de coberturas verdes nas áreas mais habitadas, principalmente em escolas, que dentre outros benefícios seriam utilizadas para estudar biologia. Com isso verificou-se que apenas 5% das escolas norte-americanas estão em condições ecológica corretas.

Yuen e Hien (2005), observaram que Singapura vem expandindo, nos últimos anos, as áreas verdes urbanas, incluindo as coberturas verdes nos edifícios da cidade.

Inicialmente, as pessoas não entendiam o motivo da existência dessas áreas e tampouco as utilizavam. Entretanto, nos últimos meses passaram a freqüentá-las e incentivaram o uso das mesmas, considerando o benefício que elas oferecem. Além disso, com o rápido crescimento habitacional da cidade, as coberturas verdes minimizam o problema das “ilhas” urbanas de calor e tornam a paisagem urbana mais atrativa.

Saiz *et al* (2006), realizaram um estudo para avaliar os benefícios de uma cobertura verde, localizada em um edifício residencial de oito andares em Madri, com o objetivo de reduzir o consumo de energia. Após a comparação dessa cobertura com uma cobertura branca e uma cobertura comum através de uma simulação no software ESP-r, chegou-se a uma temperatura superficial externa máxima de 65°C, 42°C e 35°C para as coberturas comum, branca e verde respectivamente. Adotando-se, então, a cobertura verde, verificou-se que o consumo de energia utilizado em climatização seria reduzido em 6.2%.

2.4.3. Isolamento térmico

Velazquez (2005), afirmou que a comparação do desempenho térmico entre uma cobertura verde e uma tradicional pode ser obtida através de medições do fluxo de energia nos dois sistemas de cobertura, a fim de compreender seu funcionamento e examinar os perfis de temperatura de cada cobertura, considerando temperatura do ar, temperatura de superfície, radiação solar, velocidade e sentido do vento e umidade relativa (figura 2.9).

Kawashima (1991), baseou-se no conceito de que muito da energia solar que incide sobre uma superfície de asfalto ou concreto é irradiado em forma de calor. Uma camada de vegetação pode interceptar esta radiação e reduzir este calor através da evapotranspiração das plantas, regulando as variações bruscas de temperatura. Num dia típico de verão essa absorção de energia solar por parte das plantas, que pode ser de até 90%, diminui a temperatura das superfícies. Além disso, a vegetação protege a cobertura da ação direta dos raios ultravioleta, aumentando a sua durabilidade.

Pouey, Sattler e Schneider (1998), monitoraram o desempenho térmico de uma cobertura verde e de uma tipo terraço (laje exposta), na cidade de Pelotas, RS, durante períodos de verão e inverno. Os resultados mostraram que, em termos de temperaturas superficiais, a externa registrou menor amplitude de variação, tanto no inverno quanto no verão e, a interna, foi menor no verão e praticamente igual à do terraço no inverno. Quanto às temperaturas do ar interno, as da cobertura verde foram sempre menores no verão, e no inverno, tornaram-se iguais ou superiores às temperaturas internas do terraço. Portanto, a cobertura verde apresentou melhores respostas (figura 2.2).

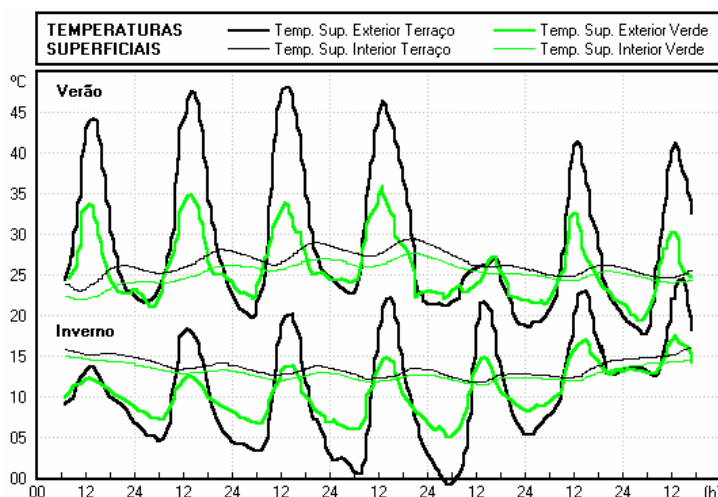


Figura 2.2: Evolução das temperaturas superficiais externas e internas em cobertura verde e laje exposta durante os períodos de verão e inverno

Fonte: POUHEY, SATTLER e SCHNEIDER, 1998

Trebilcock (1998), explorou algumas possibilidades de construir coberturas verdes em países sul-americanos e escolheu o Chile para sua proposta. Embora os profissionais chilenos acreditassem que tais coberturas fossem mais caras e de construção complicada quando comparadas com outras coberturas, eles concluíram que a solução seria utilizar tecnologias apropriadas: conseqüências da cultura local que se refletem no cotidiano das pessoas, seus costumes e habilidades, respondendo às condições climáticas e aos recursos renováveis do local. Essa solução foi otimizada pelo fato de que uma cobertura tradicional teria sua temperatura superficial externa variando de -20 a 80 °C e uma cobertura verde de -5 a 35 °C (baseado em outros experimentos para o clima chileno).

Machado, Britto e Neila (1999), a fim de determinar o comportamento de coberturas com vegetação, realizaram medições em algumas construções das cidades de Madri, Espanha, e Maracaibo, na Venezuela. Em Madri, a variação diária de temperatura interna, nos modelos com cobertura verde, foi de 0,3 a 5,3°C. As simulações térmicas realizadas em Maracaibo mostraram que os edifícios com temperaturas mais baixas em comparação aos com laje exposta foram aqueles com cobertura verde, onde a temperatura máxima não ultrapassou 28,2°C. Os resultados evidenciaram que a cobertura verde reduz a transferência de calor, agindo como um isolante térmico. Afirmam, ainda, que esta cobertura tem muitas vantagens arquitetônicas, construtivas, ambientais e estéticas.

Ferrante e Mihalakakou (2001), analisaram as temperaturas internas de uma edificação na cidade de Legnano (Itália), formada por dois prédios e um átrio (pórtico coberto no interior do edifício) entre eles, o qual é utilizado para a circulação de pessoas, além de contribuir para a ventilação do local. Através do software TRNSYS realizou-se o estudo térmico em situação de verão e de inverno, simulando-se a

existência ou não do átrio e das áreas verdes sobre a cobertura. Após a análise foram encontrados os seguintes resultados:

Tabela 2.1: Variação de temperaturas internas de uma edificação na cidade de Legnano (Itália)

Fonte: FERRANTE e MIHALAKAKOU, 2001

Sistemas / Temperaturas	Variação da Temperatura Interna - Verão (°C)	Variação da Temperatura Interna - Inverno (°C)
Sem átrio e cobertura verde	14.4 – 34.8	4.8 – 12.6
Com átrio e sem cobertura verde	12.5 – 25.2	7.1 – 13.2
Sem átrio e com cobertura verde	12 – 24	7.8 – 13.9
Com átrio e cobertura verde	11.5 – 22.5	8.2 -14.5
Variação da Temperatura Externa – Verão (°C)	Variação da Temperatura Externa - Inverno (°C)	
13.8 – 35.6	5.2 – 10.6	

Observa-se que no inverno, com qualquer um dos sistemas, as temperaturas internas são maiores que as externas e no verão ocorre o inverso. Além disso, o melhor desempenho térmico da edificação ocorre com a combinação do átrio e da cobertura verde.

Köhler *et al* (2001), compararam o efeito do calor entre duas coberturas situadas em Berlin, sendo uma tradicional com betume e a outra uma cobertura verde com uma vegetação de 8 cm de altura que cobria 90% do substrato, encontrando uma temperatura interna com 10 °C a mais na cobertura com betume. Adicionalmente, foram analisadas outras duas coberturas situadas em Neubrandenburg, sendo uma tradicional com pedregulho e a outra uma cobertura com vegetação de 7 cm de altura que cobria 30% do substrato, encontrando temperaturas similares, porém com a desvantagem do pedregulho elevar o peso da cobertura e não possuir os benefícios da vegetação.

Niachou *et al* (2001) realizaram medições de temperatura do ar e de superfície em edifícios comerciais com e sem coberturas verdes, em Atenas, Grécia, com o objetivo de avaliar as propriedades térmicas, bem como o impacto na redução do consumo de energia das coberturas com vegetação. Durante um dia típico de verão, as menores cargas térmicas foram registradas nos edifícios com cobertura vegetal, cujas temperaturas internas variaram entre 26 e 29°C.

Onmura *et al* (2001), conduziram medições de campo em uma cobertura com vegetação, no Japão, com o objetivo de investigar o efeito de refrigeração evaporativa. Observou-se um decréscimo na temperatura superficial da cobertura de 60 para 30°C, ou seja, uma redução de 50%.

Wong (2002), realizou medições de temperatura em uma cobertura ajardinada de uma edificação comercial em Singapura. Os resultados revelaram que a instalação dessas coberturas fornecem proteção térmica às construções e melhoram o clima aos seus arredores. Ele comparou também as temperaturas superficiais externas medidas com diferentes tipos de plantas, sem plantas (terra apenas) e laje tradicional, encontrando diferenças significativas como pode ser visto na figura 2.3.

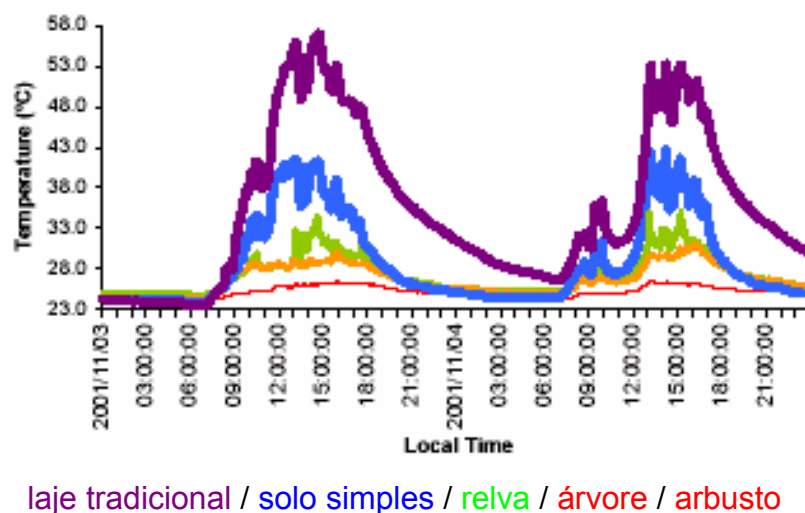


Figura 2.3: Temperaturas superficiais externas com diferentes tipos de cobertura em uma edificação comercial em Singapura

Fonte: WONG, 2002

Alexandri e Jones (2003), pesquisaram e compararam os efeitos térmicos entre uma cobertura verde extensiva, cobertura tradicional (laje de concreto) e cobertura tradicional branca, através de uma célula-teste montada em Gales, mas simulando as temperaturas do ar externo medidas para três cidades com características climáticas divergentes: Atenas (Grécia), Riyadh (Arábia Saudita) e Mumbai (Índia). Os resultados encontram-se nas tabelas 2.2 e 2.3.

Percebe-se então que a temperatura externa máxima da cobertura tradicional é maior que a da cobertura verde, a qual oferece uma resistência térmica maior que a branca, pois pelas diferenças entre as temperaturas superficiais externas máximas da verde e da branca percebe-se que a verde resiste a temperaturas elevadas (tabela 2.3).

Tabela 2.2: Temperaturas superficiais externas em diferentes coberturas de uma célula-teste montada em Gales

Fonte: ALEXANDRI e JONES, 2003

Cidades / Temperaturas	$T_{sup_ext_CT}$ (°C)	$T_{sup_ext_CV}$ (°C)
Atenas	54.9	33.2
Riyadh	64.6	38.6
Mumbai	60.6	38.3

$T_{sup_ext_CT}$: Temperatura superficial externa da cobertura tradicional (máxima).

$T_{sup_ext_CV}$: Temperatura superficial externa da cobertura verde (máxima).

Tabela 2.3: Diferenças entre as temperaturas superficiais externas de diferentes coberturas de uma célula-teste montada em Gales

Fonte: ALEXANDRI e JONES, 2003

Cidades / Temperaturas	$\Delta T_{sup_ext_CV \times CTb}$ (°C)
Atenas	2.5
Riyadh	2.7
Mumbai	3.4

$\Delta T_{sup_ext_CV \times CTb}$: Diferença entre as temperaturas superficiais externas máximas da cobertura verde e da cobertura tradicional branca.

Não foram feitas comparações entre as temperaturas superficiais externas da cobertura verde e da cobertura branca, e, nem entre as diferenças das temperaturas superficiais externas da cobertura verde e da cobertura tradicional.

Liu (2002), realizou medições de temperaturas utilizando uma célula-teste desenvolvida em Ottawa, a qual era formada por uma cobertura comum, com acabamento em betume, e uma cobertura verde, ambas com sensores conectados na superfície externa da estrutura (base) para medir as temperaturas. Enquanto a temperatura máxima do ar externo era de 35°C, a temperatura da superfície externa da cobertura com betume era de 70°C e a da superfície com vegetação de 25°C, concluindo que para climatizar a sala com cobertura comum seria necessário gastar de 6 a 7.5 KWh de energia e a sala com cobertura verde necessitaria menos de 1.5 KWh, gerando uma economia de mais de 75%.

Bass e Baskaram (2003), analisaram uma célula-teste, montada no Instituto de Pesquisa em Construção na cidade de Ottawa, desenvolvida por Liu (2002) e com a mesma posição dos sensores. Após a análise, notou-se que a temperatura da superfície externa da cobertura comum teve uma variação de 46°C e a da cobertura verde variou 6.5°C. No outono e no inverno a cobertura verde teve melhor desempenho porque bloqueou o vento e diminuiu a perda de calor por convecção.

Köhler, Schmidt e Laar (2003), desenvolveram uma célula-teste localizada na cidade de Neubrandenburg (Alemanha), a qual possuía três tipos de coberturas: cobertura verde, cobertura com pedregulho e cobertura com terra sem vegetação. Após a medição, em um dia crítico, as temperaturas superficiais externas eram de 27°C, 36°C e 29°C para as coberturas verde, com pedregulho e sem vegetação respectivamente.

Liu (2003), realizou uma pesquisa similar à anterior, mas com um período de 660 dias de medição para verificar se os componentes da cobertura verde sofriam alterações físicas que prejudicassem seu desempenho térmico. Após 219 dias e nos últimos 18 dias, a temperatura máxima da superfície externa da cobertura comum era de 60°C e a da cobertura verde de 30°C, permitindo concluir que o tempo não alterou a eficiência da cobertura ajardinada.

Morais e Roriz (2003), realizaram uma pesquisa, na qual mediram as temperaturas internas em dois tipos de guaritas de edifícios: uma com laje comum e outra com laje ajardinada. Após os resultados, concluiu-se que ao longo do dia, as temperaturas superficiais da laje comum acumulam 65,2 graus-hora de calor acima das temperaturas do ar, enquanto a cobertura verde acumula menos de 40 % deste valor. Além deste aspecto, nos horários mais quentes do dia a cobertura verde contribui para a refrigeração do ambiente, pois sua temperatura superficial permanece abaixo da temperatura do ar desde as 9 até as 18 horas. A maior diferença, 3,3°C, acontece ao meio-dia, quando a temperatura superficial fica em 23,0°C e a temperatura do ar chega a 26,3 °C.

Devido à maior amplitude provocada pela laje comum, no início da manhã (entre 5 e 8h), suas temperaturas superficiais são ligeiramente menores que as da cobertura verde. Por outro lado, às 16h a superfície inferior da laje comum atinge 3,7 °C acima da temperatura do ar e esta diferença continua aumentando praticamente até o final do dia, atingindo às 21h o valor máximo de 4,4 °C.

Theodosiou (2003), estudou a performance de uma cobertura verde como técnica de resfriamento passivo no período de verão e concluiu que as condições climáticas mostram uma importante influência no desempenho de telhados verdes como técnica de resfriamento. Apesar dos parâmetros serem estudados separadamente, uma aproximação menos real, mostrou que a umidade relativa é o fator climático mais importante, não apenas para essa cobertura, mas para todas as técnicas relacionadas à evaporação. O ambiente seco realça a evapotranspiração e as capacidades de refrigeração. A velocidade do vento tem o mesmo efeito, embora nem tão forte quanto a umidade relativa, e com altos valores remove o vapor da folhagem e leva ao aumento da evapotranspiração.

Morais (2004), realizou uma pesquisa para verificar o comportamento térmico de uma cobertura verde, em célula-teste, submetida ao clima da região de São Carlos, em situação de inverno e de verão. Para tanto, foram monitoradas as lajes de coberturas com e sem vegetação. As análises foram ordenadas de modo a comparar os desempenhos térmicos das coberturas em cada uma das situações, separadamente, e entre uma situação e outra. No inverno a cobertura verde apresentou uma amplitude térmica média 70% menor que a da cobertura sem vegetação. No verão, entre as temperaturas do ar nos ambientes internos às coberturas ocorreram diferenças de até 5°C. Os valores obtidos mediante as comparações indicaram um desempenho mais satisfatório da cobertura verde, a qual se manteve mais estável e resistente às flutuações térmicas diárias, tanto no inverno quanto no verão. Estes resultados indicaram que a cobertura ajardinada dispõe de importante potencial de aplicação no clima considerado, sendo solução de custo relativamente baixo e podendo contribuir efetivamente para melhorar o conforto ambiental e a eficiência energética do ambiente construído (figura 2.4).

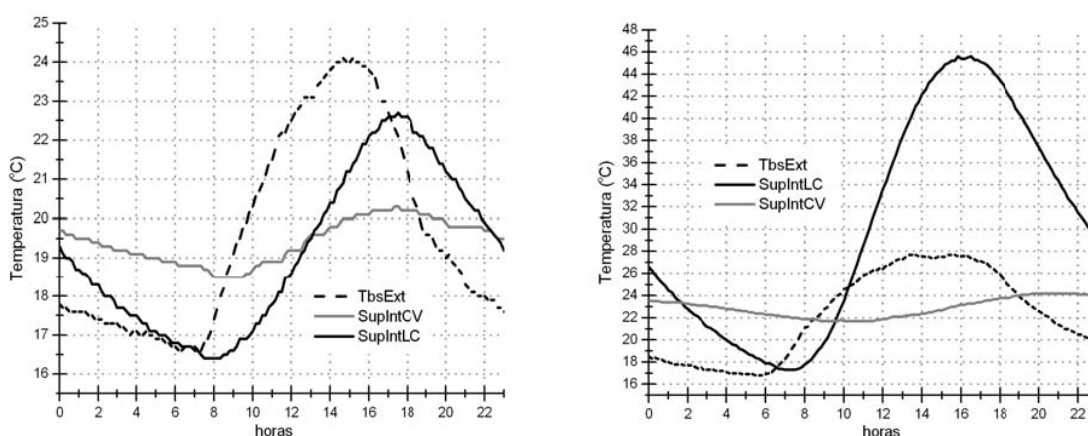


Figura 2.4: Comparação entre os valores médios das temperaturas superficiais internas da laje comum (LC) e da grama (CV) em situação de inverno (esquerda) e verão (direita).

Fonte: MORAIS, 2004.

Connelly e Liu (2005), estudaram o comportamento térmico de uma cobertura verde em uma célula-teste montada no IRC (Instituto de Pesquisas Canadense) em Vancouver (Canadá), dividida em três partes: a primeira consistia de uma cobertura verde com vegetação densa (150mm de crescimento médio), a segunda, uma cobertura tradicional com acabamento em betume e a terceira, uma cobertura verde com vegetação rasteira (75mm de crescimento médio). Foram colocados sensores para medir a temperatura superficial externa das coberturas (laje) e indicar o fluxo de calor do meio externo para o interno. Ao realizar a leitura dos aparelhos notou-se que enquanto a temperatura média do ar externo era de 21°C, a superfície da cobertura tradicional estava a 32°C e as coberturas verdes com vegetação densa e rasteira tinham amplitudes médias de 1.5°C e 3°C, respectivamente. Quanto ao fluxo

de calor, durante a noite era de 1.605 kWh/m² para a cobertura tradicional, 0.701 kWh/m² para a cobertura verde densa e 0.715 kWh/m² para a cobertura verde rasteira; e durante o dia a variação do fluxo térmico para a cobertura tradicional era de 1.031 kWh/m². Nenhum ganho de calor foi observado para as duas coberturas verdes.

Lerum (2005), analisou uma cobertura com terra numa residência familiar em Sogndal (Noruega) colocando sensores no topo da cobertura (terra), na superfície externa da base e no interior da edificação. No verão, as temperaturas máximas do ar externo, da terra e do interior da edificação foram de 26°C, 52.4°C e 27.5°C respectivamente, enquanto que no inverno foram de 6.5°C, 1.5°C e 15°C respectivamente. A baixa temperatura da terra deve-se à presença de neve sobre a mesma.

Lichtenberg e Barroso-Krause (2005), desenvolveram em seu projeto Ecohouse, utilizando uma residência localizada no Rio de Janeiro como célula-teste, as lajes verdes, as quais são formadas por grama esmeralda, capim limão, algumas ervas, uma pitangueira e hibiscos. Após dois verões, a laje já se encontra totalmente estabilizada e pôde ser constatado pelos ocupantes a sensação de conforto térmico proporcionado pela sua implementação – não só para o ambiente interno abaixo da laje - mas também quando de seu uso e para os vizinhos que não recebem mais o calor refletido pelo antigo telhado de telhas francesas.

Liu e Minor (2005), desenvolveram uma célula-teste, em Toronto (Canadá), com três tipos de cobertura: uma tradicional e duas ajardinadas, sendo uma com camada drenante semi-rígida (vegetação com 100mm de altura) e a outra com camada drenante rígida (vegetação com 75mm de altura). Após a análise, foram obtidos os seguintes valores de temperatura superficial externa máxima (°C):

Tabela 2.4: Temperaturas superficiais externas máximas das diferentes coberturas desenvolvidas em uma célula-teste em Toronto

Fonte: LIU e MINOR, 2005.

Situação / Cobertura	CT	CVr (h _v =75mm)	CVsr (h _v =100mm)
Verão	66	38	36
Inverno	0	3	2

h_v: altura da vegetação.

CT: cobertura tradicional.

CVr: cobertura verde com camada drenante rígida.

CVsr: cobertura verde com camada drenante semi-rígida.

Percebe-se que no verão a cobertura verde com camada drenante semi-rígida foi termicamente mais efetiva, devido à altura da vegetação e ao peso mais leve, e no

inverno a cobertura verde com camada drenante rígida apresentou melhor desempenho térmico, devido à maior retenção de calor de seus componentes.

Vecchia (2005), verificou que uma cobertura, tradicional no Brasil, de laje pré-moldada cerâmica composta por vigotas de concreto e lajotas cerâmicas de 150 mm, impermeabilizada com resina vegetal na cor branca, portanto, sem a utilização de qualquer tipo de telha, atinge a temperatura superficial interna máxima de 33°C em função de constituição termofísica, a exemplo de sua massa térmica e absorvância.

Ao contrário deste sistema de cobertura, a CVL (cobertura verde leve) não atinge os 33°C nas mesmas condições, uma vez que a sua temperatura superficial interna máxima verificada experimentalmente foi de 26,7°C, ficando inclusive abaixo da temperatura máxima do ar registrada que foi de 28,8°C. Fato que significa que as superfícies interiores das CVLs contribuem para a absorção do calor interno, no período crítico que ocorre na parte da tarde.

Cabe ainda frisar que o valor máximo encontrado para a temperatura do ar interior do sistema CVL ainda se manteve baixo, porém não no momento de pico da temperatura externa (34°C às 14 horas e 30 minutos) e sim às 19 horas com um valor de 28,8°C. Isto é, com um atraso de aproximadamente 5 horas. No mesmo horário, a comparação se traduz da seguinte forma: temperatura externa igual a 34°C contra 26°C da temperatura interna da CVL, ou seja, um amortecimento de 8°C. O que é bastante aceitável para o comportamento térmico, nesse dia experimental de excepcional calor, que se apresentou com valores acima da média das máximas, para esse episódio climático de transição primavera-verão, na região de São Carlos (SP).

2.5. Dificuldades para a difusão das coberturas verdes

Happe (2005), afirma que as principais barreiras para a construção de coberturas verdes são a insuficiência de profissionais com habilidades técnicas específicas, as quais garantem o bom funcionamento do sistema, e os custos dos materiais que compõem essa cobertura e da mão-de-obra específica para sua instalação e manutenção periódica.

Ngan (2004), descreveu a política utilizada na Alemanha para incentivar a construção de coberturas verdes, as quais possuem os seguintes princípios: incentivo financeiro direto e indireto, compensação ecológica e integração de desenvolvimentos regulares. A partir dessa política, os municípios canadenses estão estabelecendo as diretrizes necessárias para a propagação das coberturas verdes: tipos de projeto, suporte financeiro e manutenção (figura 2.10).



Figura 2.5: Centro Universitário de Manchester, Inglaterra

Fonte: BOSCOE, 2003



Figura 2.6: Residência ajardinada em Chester, Inglaterra

Fonte: BOSCOE, 2003



Figura 2.7: Residência próxima ao Lago Zurich, Suíça

Fonte: IGRA, 2006



Figura 2.8: Edifício residencial, Singapura

Fonte: IGRA, 2006



Figura 2.9: Aeroporto Internacional Schiphol em Amsterdan, Holanda

Fonte: VELAZQUEZ, 2005



Figura 2.10: Edifício residencial em Berlim, Alemanha

Fonte: NGAN, 2004

Emilsson e Rolf (2005), desenvolveram um estudo, na cidade de Malmö (Suécia), o qual consistia na pré-fabricação de coberturas verdes utilizando três tipos de vegetação: em mantas, mudas e sementes. A montagem dessa cobertura foi realizada fora do local de implantação, sendo posteriormente cortada em quadrados e transportada até os protótipos localizados em meio residencial e industrial. Após a análise, verificou-se que a vegetação em mantas cresceu mais rápido que as outras e cobriu cerca de 80% do substrato, enquanto a semeada gerou maior quantidade de musgo, atraindo pássaros que podem danificar a cobertura causando goteiras. Entretanto, o custo da cobertura com vegetação em mantas é o dobro da semeada e 30% maior que a plantação em mudas.

Velazquez (2006), propôs a construção de áreas verdes, principalmente coberturas verdes, nos países da América do Norte, onde há um crescimento da extinção dessas áreas, gerando os seguintes problemas: destruição de ecossistemas, poluição atmosférica, aquática e sonora, enchentes e “ilhas” urbanas de calor. A proposta baseou-se em modelos de países europeus como França, Alemanha e Holanda, destacando a escolha de plantas que não produzam sementes para não atrair pássaros, os quais poderiam danificar a cobertura, e a necessidade de possuir uma manutenção periódica.

Porsche e Köhler (2003), analisaram a relação entre o custo e os benefícios de coberturas verdes e concluíram que o custo depende dos materiais que nelas são empregados, os quais têm influência na durabilidade das mesmas. Embora a construção de uma cobertura ajardinada apresente um alto custo inicial, seus benefícios, como a economia de energia e a retenção de água pluvial, trarão um retorno financeiro positivo futuramente.

2.6. Cálculo do comportamento térmico de coberturas verdes

Del Barrio (1998), desenvolveu modelos matemáticos para cada componente de uma cobertura verde (estrutura, solo e vegetação), os quais podem ser usados na análise do comportamento termodinâmico de coberturas ajardinadas.

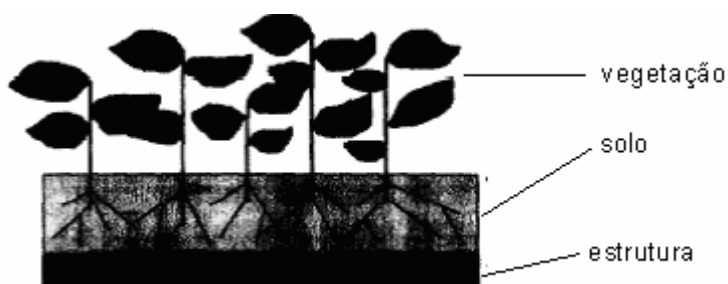


Figura 2.11: Esboço de uma cobertura verde

Fonte: DEL BARRIO, 1998

2.6.1. Modelo para a estrutura (Del Barrio, 1998)

Supõe-se que a estrutura ou cobertura suporte seja uma camada de material sólido e homogêneo com propriedades termofísicas constantes.

A equação do fluxo térmico nesta condição em uma direção é:

$$\rho c_p \frac{\partial T_s(z,t)}{\partial t} = \lambda_s \frac{\partial^2 T_s(z,t)}{\partial z^2} \quad (\text{eq. 01})$$

onde $T_s(z,t)$ representa a temperatura ao longo desse componente ($^{\circ}\text{C}$) em função do tempo, ρ é a densidade (kg/m^3), c_p é o calor específico ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$), e λ_s a condutividade térmica do material ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$).

Considerando esta camada separada dos outros componentes, a equação é simplificada para:

$$\begin{aligned} T_s(z=0, t) &= T_{\text{sup port, top}(t)} \\ -\lambda_s \frac{\partial T_s(z,t)}{\partial z} \Big|_{z=L} &= h(T_{\text{sup port, bottom}} - T_{\text{in}}) \end{aligned} \quad (\text{eq. 02})$$

onde $z=0$ é a superfície da estrutura em contato com o ar externo, $z=L$ é a superfície da estrutura em contato com ar interno, L é a espessura da estrutura (m), T_{in} é a temperatura do ar interno, $T_{\text{sup port, top}}$ é a temperatura no topo da superfície, $T_{\text{sup port, bottom}}$ é a temperatura na superfície oposta ao topo e $h=\lambda_s/L$.

2.6.2. Modelo para o solo (Del Barrio, 1998)

O solo é um meio poroso em que três fases podem ser distinguidas: a fase sólida (minerais e material orgânico), a líquida (água) e a gasosa (ar e vapor d'água). Qualitativamente, pode-se afirmar que em solos insaturados, o calor será transportado nestas três fases. Os respectivos mecanismos dominantes serão: condução nas fases sólida e líquida, convecção nas fases líquida e gasosa e calor latente transferido pela difusão do vapor entre os poros.

De acordo com as seguintes hipóteses:

- 1) o fluxo térmico ocorre em uma única direção;
- 2) a fase sólida é homogênea e isotrópica, e suas propriedades não dependem da direção do fluxo;
- 3) as fases líquida e gasosa estão sempre em equilíbrio;

- 4) os poros são considerados pequenos, a pressão total constante e o ar entre eles desprezível,

a equação do fluxo térmico nestas condições pode ser escrita como:

$$\rho c_p(\omega, T) \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ [\lambda(\omega, T) + \Lambda D_{vT}(\omega, T)] \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} + \Lambda D_{v\omega}(\omega, T) \frac{\partial \omega(z, t)}{\partial z} \right\} \quad (\text{eq. 03})$$

$$\frac{\partial \omega(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ D_\omega(\omega, T) \frac{\partial \omega(z, t)}{\partial z} + D_T(\omega, T) \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} \right\} - \frac{\partial K(z, t)}{\partial z} + \varphi(z, t)$$

onde $T(z, t)$ é a temperatura média nos poros (K), $\omega(z, t)$ a mistura volumétrica, $\rho c_p(\omega, T)$ a capacidade térmica ($\text{kJ m}^{-2} \text{K}^{-1}$), $\lambda(\omega, T)$ a condutividade térmica efetiva ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$), Λ o calor latente de vaporização (J kg^{-1}), $D_{vT}(\omega, T)$ o coeficiente não isotérmico de difusividade de vapor ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}$), $D_{v\omega}(\omega, T)$ o coeficiente isotérmico de difusividade de vapor ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$), $D_\omega(\omega, T)$ o coeficiente isotérmico de difusividade de massa (vapor+líquido) ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), $D_T(\omega, T)$ o coeficiente não isotérmico de difusividade de massa (vapor+líquido) ($\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}$), $K(z, t)$ a condutividade hidráulica (m s^{-1}) e $\varphi(z, t)$ representa a umidade absorvida pela raiz do vegetal.

Assumindo constante a mistura entre os componentes do solo, a equação 03 torna-se mais simplificada:

$$\rho c_p(\omega, T) \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ [\lambda(\omega, T) + \Lambda D_{vT}(\omega, T)] \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} \right\} \quad (\text{eq. 04})$$

Todos os coeficientes nesta equação são variáveis dependentes da mistura e da temperatura, que devem ser determinadas especificamente para cada tipo de solo. Entretanto, algumas relações funcionais entre esses coeficientes e a temperatura e mistura do solo podem ser propostas considerando que não há interesse em um tipo de solo específico e que as curvas e tabelas de coeficientes dependentes não satisfazem como parâmetro para análises térmicas.

O modelo proposto para estimar a condutividade térmica do solo é dado por:

$$\lambda(\omega)10^7 = \left[2.1 \left(\frac{\rho}{1000} \right)^{(1.2-2\omega)} e^{-0.7(\omega-0.2)^2} + \left(\frac{\rho}{1000} \right)^{(0.8+2\omega)} \right] \rho c_p(\omega) \quad (\text{eq. 05})$$

onde ρ é a densidade aparente do solo (kg m^{-3}), ω a capacidade volumétrica, λ a condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$), e ρc_p a capacidade térmica ($\text{kJ m}^{-2} \text{K}^{-1}$). λ calculado com essa fórmula envolve um erro menor que 7% na maioria dos casos.

A capacidade térmica do solo é calculada pela seguinte fórmula:

$$\rho c_p(\omega) = 4180(0.2 + \omega)\rho \quad (\text{eq. 06})$$

Pode –se demonstrar que através das seguintes hipóteses:

- 1) o vapor do ar e da água segue a lei do gás ideal;
- 2) a transferência de ar no solo é desprezível;
- 3) a pressão total é constante;
- 4) a mistura volumétrica do solo está sempre acima do ponto de saturação e o potencial da água em equilíbrio com o vapor é maior que $-10^{4.2}$ cm,

o coeficiente não isotérmico de difusividade de vapor pode ser escrito como:

$$D_{vT} = -\frac{D\Lambda}{R_v^2 T^3} \frac{P p_v}{P - p_v} \quad (\text{eq. 07})$$

onde D é o coeficiente de difusão do vapor d'água no ar ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), Λ o calor latente de vaporização (J kg^{-1}), R_v constante do vapor d'água ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$), T a temperatura absoluta (K), P a pressão total (Pa) e p_v a pressão de vapor (Pa), a qual é dada pela relação:

$$p_v = p_s \exp\left(\frac{g\Psi}{R_v T}\right) \quad (\text{eq. 08})$$

sendo p_s a pressão da água saturada (Pa), g a aceleração gravitacional (m s^{-2}), e Ψ o potencial total da água em equilíbrio com o vapor (m).

O coeficiente de difusão do vapor d'água no ar é considerado uma função linear da porosidade média (% do volume total ocupado pelas partículas de solo), e é dado por:

$$D = \alpha D_0 E \quad (\text{eq. 09})$$

onde D_0 é o coeficiente de difusão do vapor no ar livre ($0.611 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), E a porosidade do solo e α uma constante variando de 0.58 a 0.67.

A relação entre densidade e porosidade é expressa por:

$$E = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) 100 \quad (\text{eq. 10})$$

onde ρ representa a densidade aparente e ρ_s a densidade específica das partículas geralmente dada por 2700 kg m^{-3} .

O potencial total da água em equilíbrio com o vapor é representado por:

$$\psi = \Psi_{wp} + \frac{\Psi_{fc} - \Psi_{wp}}{\omega_{fc} - \omega_{wp}} (\omega - \omega_{wp}) \quad (\text{eq. 11})$$

onde ω_{wp} é a mistura volumétrica no ponto de saturação, e $\Psi = \Psi_{wp} = -10^{-4.15} \text{ cm}$, e ω_{fc} é a mistura volumétrica limitante, com $\Psi = \Psi_{fc} = -10^{-2.71} \text{ cm}$.

O modelo para o solo compreende, então as equações de (4) a (11), limitando-se a:

$$\begin{aligned} T(z = 0, t) &= T_{soil, top}(t) \\ T(z = L, t) &= T_{soil, bottom}(t) \end{aligned} \quad (\text{eq. 12})$$

com $T_{soil, top}$ e $T_{soil, bottom}$ sendo as temperaturas do topo e da base do solo, respectivamente, e assim como o modelo para a estrutura, considera-se esse componente separado dos outros.

2.6.3. Modelo para a vegetação (Del Barrio, 1998)

De acordo com os seguintes processos:

- 1) radiação solar absorvida pelas folhas;
- 2) trocas da radiação de ondas longas entre as folhas e o céu, as folhas e o solo e as próprias folhas;
- 3) transferência de calor por convecção entre as folhas e o ar entre elas, e entre o solo e o ar entre as folhas;
- 4) evapotranspiração nas folhas: evaporação da água das folhas, difusão do vapor para a superfície das folhas e transporte de vapor por convecção da superfície das folhas para o ar;
- 5) evaporação e/ou condensação de vapor d'água no solo e transferência de vapor por convecção entre o solo e o ar;
- 6) transferência de calor e vapor por convecção entre o ar no interior da vegetação e o ar livre,

as equações que determinam o fluxo térmico são:

$$\begin{aligned}
(\rho c)_p dLAI \frac{dT_p}{dt} &= \varphi_{rad.sol} + \varphi_{rad.TIR} + \varphi_{conv.p-a} + \varphi_{tran.p-a} \\
(\rho c)_a L \frac{dT_a}{dt} &= \varphi_{conv.a-p} + \varphi_{con.a-g} + \varphi_{conv.a-\infty} \\
\rho_a L \frac{d\theta_a}{dt} &= \varphi_{vap.a-p} + \varphi_{vap.a-g} + \varphi_{vap.a-\infty}
\end{aligned}
\tag{eq. 13}$$

onde T_p é a temperatura das folhas (K), T_a a temperatura do ar (K), θ_a umidade específica do ar (kg kg^{-1}), $(\rho c)_p$ a capacidade térmica específica das folhas ($\text{kJ m}^{-2} \text{K}^{-1}$), d a espessura média das folhas (m), LAI o índice de área da folha, $(\rho c)_a$ a capacidade térmica específica do ar ($\text{kJ m}^{-2} \text{K}^{-1}$), ρ_a a densidade do ar (kg m^{-3}), L a altura da camada vegetal (m), $\varphi_{rad,sol}$ a radiação solar absorvida pelas folhas (W m^{-2}), $\varphi_{rad,TIR}$ o fluxo de radiação térmica nas folhas (W m^{-2}), $\varphi_{conv,p-a}$ o fluxo de calor sensível entre a folhagem e o ar em seu interior (W m^{-2}), $\varphi_{trans,p-a}$ o fluxo de energia proveniente da transpiração das folhas (W m^{-2}), $\varphi_{conv,a-p}$ o fluxo de calor sensível entre a folhagem e o ar em seu interior ($\varphi_{conv,a-p} = -\varphi_{conv,p-a}$) (W m^{-2}), $\varphi_{conv,a-g}$ o fluxo de calor sensível entre o ar no interior da folhagem e a base (W m^{-2}), $\varphi_{conv,a-\infty}$ o fluxo de calor sensível entre o ar no interior da folhagem e o ar livre (W m^{-2}), $\varphi_{vap,a-p}$ o fluxo de vapor entre a folhagem e o ar em seu interior (kg m^{-2}), $\varphi_{vap,a-g}$ o fluxo de vapor entre o ar no interior da folhagem e o solo (kg m^{-2}), $\varphi_{vap,a-\infty}$ o fluxo de vapor entre o ar no interior da folhagem e o ar livre (kg m^{-2}).

A transmitância de onda longa nas folhas é definida como:

$$\tau_l(LAI) = \exp(-k_l LAI) \tag{eq. 14}$$

com k_l como o coeficiente de extinção para radiação de onda longa, que pode ser analiticamente calculado a partir do ângulo formado pela posição da folha com o plano horizontal (alguns valores de k_l encontram-se na tabela 2.5).

Tabela 2.5: Valores de K_l em função da posição da folha

Fonte: DEL BARRIO, 1998

Posição da folha	k_l
Horizontal	1; 1.05
Cônica ($\alpha=45^\circ$)	0.829
Vertical ($\alpha=90^\circ$)	0.436
Esférica (enrolada)	0.684; 0.81

A vegetação absorve uma fração igual a $(1-\tau_l)$ da radiação de onda longa que recebe. O fluxo de radiação térmica numa vegetação é definido por:

$$\varphi_{rad,TIR} = (1 - \tau_l) [\sigma T_{sky}^4 + \sigma T_g^4 - 2\sigma T_p^4] \quad (\text{eq. 15})$$

onde T_{sky} é a temperatura do céu e T_g a temperatura da base.

A transmitância de onda curta nas folhas é definida como:

$$\tau_s = \exp(-K_s LAI) \quad (\text{eq. 16})$$

com k_s como coeficiente de extinção para radiação de onda curta:

$$k_s = [(1 - \tau_t)^2 - \rho_t^2]^{1/2} k_l \quad (\text{eq. 17})$$

onde τ_t e ρ_t são a transmitância e refletância da folha, respectivamente. Para uma folha verde, a equação resulta em $k_s=0.74*k_l$. Para folhas posicionadas horizontalmente tem-se $k_s=1.10$ e verticalmente $k_s=0.29$.

A refletância de uma camada vegetal é dada por:

$$\rho_s(LAI) = (1 - \tau_l(LAI))\rho_\infty \quad (\text{eq. 18})$$

onde ρ_∞ é a refletância de uma camada densa.

A vegetação absorve uma fração igual a $1 - \tau_s - \rho_s$ da radiação de onda curta que recebe. O fluxo de radiação solar absorvido pela vegetação é definido por:

$$\varphi_{rad,sol} = [1 - \tau_s - (1 - \tau_s)\rho_\infty](1 + \tau_s\rho_g)\varphi_s \quad (\text{eq. 19})$$

onde φ_s representa a radiação solar na superfície da folhagem, e $\tau_s*\rho_s*\varphi_s$ a radiação solar refletida pelo solo.

A transferência de calor sensível entre a folhagem e o ar em seu interior é representado por:

$$\varphi_{conv,p-a} = -\varphi_{conv,a-p} = -2LAI \frac{\rho c_p}{r_c} (T_p - T_a) \quad (\text{eq. 20})$$

onde r_e indica a resistência externa da vegetação, e é definida como:

$$r_e = \frac{al^m}{(l|T_p - T_a| + bu^2)^n} \quad (\text{eq. 21})$$

com l como o comprimento das folhas (m), μ a velocidade do vento (m s^{-1}) e a , b , m e n coeficientes empíricos ($a=1174$, $b=207$, $m=0.5$ e $n=0.25$).

O fluxo de energia consumida pela evaporação de água em folhas pode ser representado por:

$$\phi_{trans,p-a} = -2LAI \frac{\rho c_p}{\gamma(r_e + r_i)} (e_p - e_a) \quad (\text{eq. 22})$$

onde γ é a constante psicrométrica termodinâmica (Pa K^{-1}), e_p e e_a a pressão de vapor na superfície da folha e no ar entre as folhas, respectivamente (Pa), r_e a resistência externa da vegetação (s m^{-1}) e r_i a resistência interna para a transferência de vapor da vegetação (s m^{-1}), definida por:

$$r_i = r_{\min} \tilde{r}_i(\varphi_s) \tilde{r}_i(T_p) \tilde{r}_i(CO_2) \tilde{r}_i(e_p - e_a) \quad (\text{eq. 23})$$

onde r_{\min} é a resistência mínima possível, cuja magnitude tem uma origem puramente fisiológica, CO_2 a concentração de gás carbônico no ar e \tilde{r}_i a função que incrementa a resistência interna, sempre que um dos parâmetros estiver limitando a taxa de transferência de vapor de água, definida por:

$$\begin{aligned} \tilde{r}_i(\varphi_s) &= \frac{\varphi_s + C_1}{\varphi_s + C_2} ; C_1 > C_2 ; \varphi_s \sim = \frac{\varphi_s}{2LAI} \\ \tilde{r}_i(T_p) &= 1 + C_3(T_p - T_m)^2 \\ \tilde{r}_i(CO_2) &= 1 + C_4(CO_2 - 200)^2 \\ \tilde{r}_i(e_p - e_a) &= 1 + C_5(e_p - e_a)^2 \end{aligned} \quad (\text{eq. 24})$$

onde φ_s é a irradiância de onda curta (W m^{-2}), $C_1=4.3$, $C_2=0.54$, $T_m=24.5^\circ\text{C}$, $C_3=2.3 \cdot 10^{-2}$, $C_4=6.1 \cdot 10^{-7}$ e $C_5=4.3$.

A transferência de calor sensível entre a base e o ar no interior da folhagem é representado por:

$$\varphi_{conv,g-a} = -\varphi_{conv,a-g} = -h_g (T_g - T_a) \quad (\text{eq. 25})$$

onde T_a é a temperatura do ar entre as folhas (K), T_g a temperatura da base (K) e h_g o coeficiente de convecção do transporte de calor ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$).

A transferência de vapor d'água entre a base e o ar no interior da vegetação é representado por:

$$\varphi_{vap,g-a} = -\varphi_{vap,a-g} = -h_g^{\sim} (e_g - e_a) \quad (\text{eq. 26})$$

onde e_g é a pressão de vapor na base (Pa) e h_g^{\sim} o coeficiente de convecção do transporte de vapor ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Pa}^{-1}$) definido por:

$$h_g^{\sim} = \frac{1}{\Lambda \gamma} h_g \quad (\text{eq. 27})$$

com γ e Λ já definidos anteriormente.

Os fluxos de calor e vapor ocorridos pela transferência de massa entre o ar no interior da folhagem e o ar externo são definidos por:

$$\begin{aligned} \varphi_{conv,a-\infty} &= -h_{a\infty} (T_a - T_{\infty}) \\ h_{a\infty} &= RL\rho c_p \end{aligned} \quad (\text{eq. 28})$$

e

$$\begin{aligned} \varphi_{vap,a-\infty} &= -h_{a\infty}^{\sim} (e_a - e_{\infty}) \\ h_{a\infty}^{\sim} &= \frac{1}{\Lambda \gamma} h_{a\infty} \end{aligned} \quad (\text{eq. 29})$$

respectivamente, com T_{∞} como a temperatura do ar externo (K), e_{∞} a pressão de vapor do ar externo (Pa), L a altura da vegetação (m) e R a taxa de troca de ar (s^{-1}).

Para a interface solo – vegetação usa-se a relação:

$$\begin{aligned} T_g(t) &= T_{soil,top}(t) \\ e_g(t) &= p_v(T_{soil,top}, \omega_{soil,top}) \end{aligned} \quad (\text{eq. 30})$$

com p_v calculado pela equação (8) na temperatura e mistura volumétrica da superfície da base.

Continuamente, o fluxo de calor dessa interface é calculado por:

$$\begin{aligned}
 -(\lambda + \Lambda D_{vT}) \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0} &= (1 - \rho_g) \tau_s \phi_s + [\tau_l \sigma T_{sky}^4 + (1 - \tau_l) \sigma T_p^4 - \sigma T_g^4] \\
 -h_g (T_g - T_a) - \Lambda h_g \tilde{e} (e_g - e_a) &
 \end{aligned}
 \tag{eq. 31}$$

e, o fluxo de vapor é dado por:

$$-D_{vT} \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0} = -h_g \tilde{e} (e_g - e_a)
 \tag{eq. 32}$$

Para a interface solo – estrutura usa-se a relação:

$$\begin{aligned}
 T_{soil, bottom}(t) &= T_{sup port, top}(t) \\
 -(\lambda + \Lambda D_{vT}) \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} \Big|_{z=t} &= -\lambda_s \frac{\partial T_s(z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0}
 \end{aligned}
 \tag{eq. 33}$$

que é similar à da interface anterior, mas, supondo a estrutura impermeável à água e vapor d'água.

Del Barrio (1998) relata ainda que uma cobertura verde bem projetada e gerenciada poderia conduzir a um artifício de alta qualidade contra insolação no verão, reduzindo o fluxo de calor através da cobertura. Para que seja obtida alta eficiência desse sistema deve-se:

selecionar plantas bem desenvolvidas (muitas folhas) e/ou com uma distribuição horizontal das folhas, assegurando uma baixa transmissão da radiação solar (o elemento essencial nessa cobertura é a sombra).

selecionar solos leves, que reduzem a condutividade térmica bem como o peso da cobertura.

Entretanto nenhuma análise por essa cientista foi feita no inverno, necessitando-se de uma pesquisa sobre o solo adequado para este caso.

2.7. Amortecimento, Atraso e Diferença de temperatura entre médias

2.7.1. Amortecimento térmico (μ)

É a propriedade de um fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas, obtido pela razão entre a amplitude interna e externa (RIVERO, 1985), dado por:

$$\mu_{ILT} = \frac{\Delta T_{ILT}}{\Delta T_E}, \text{ para a temperatura do ar interno da laje tradicional;}$$

$$\mu_{ICV} = \frac{\Delta T_{ICV}}{\Delta T_E}, \text{ para a temperatura do ar interno da cobertura verde;}$$

$$\mu_{SLT} = \frac{\Delta T_{SILT}}{\Delta T_{SELT}}, \text{ para a temperatura superficial da laje tradicional;}$$

$$\mu_{SCV} = \frac{\Delta T_{SICV}}{\Delta T_{SECV}}, \text{ para a temperatura superficial da cobertura verde.}$$

Sendo:

ΔT_{ILT} : amplitude da temperatura do ar interno na edificação com laje tradicional;

ΔT_{ICV} : amplitude da temperatura do ar interno na edificação com cobertura verde;

ΔT_{SILT} : amplitude da temperatura superficial interna na laje tradicional;

ΔT_{SICV} : amplitude da temperatura superficial interna na cobertura verde;

ΔT_E : amplitude da temperatura do ar externo;

ΔT_{SELT} : amplitude da temperatura superficial externa na laje tradicional;

ΔT_{SECV} : amplitude da temperatura superficial externa na cobertura verde.

Para as temperaturas superficiais internas em relação à temperatura do ar externo tem-se:

$$\mu_{SLTe} = \frac{\Delta T_{SILT}}{\Delta T_E}, \text{ para a temperatura superficial da laje tradicional;}$$

$$\mu_{SCVe} = \frac{\Delta T_{SICV}}{\Delta T_E}, \text{ para a temperatura superficial da cobertura verde.}$$

2.7.2. Atraso térmico (ϕ)

É o tempo, em horas, transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005). Neste trabalho foi definido como:

$$\phi_{LT} = t_{TSILTmax} - t_{TEmax}, \text{ para a temperatura na laje tradicional;}$$

$\phi_{CV} = t_{TSICV_{max}} - t_{TE_{max}}$, para a temperatura na cobertura verde.

Sendo:

$t_{TSILT_{max}}$: tempo em que a temperatura superficial interna na laje tradicional atinge sua máxima;

$t_{TSICV_{max}}$: tempo em que a temperatura superficial interna na cobertura verde atinge sua máxima;

$t_{TE_{max}}$: tempo em que a temperatura do ar externo atinge sua máxima.

2.7.3. Diferença de temperatura entre médias – ΔT_{med}

É a diferença entre a média das temperaturas externas e internas, dada por:

$\Delta T_{med_ILT} = TE_{med} - TILT_{med}$, para a temperatura do ar interno da laje tradicional;

$\Delta T_{med_ICV} = TE_{med} - TICV_{med}$, para a temperatura do ar interno da cobertura verde;

$\Delta T_{med_SLT} = TSELT_{med} - TSILT_{med}$, para a temperatura superficial da laje tradicional;

$\Delta T_{med_SCV} = TSECV_{med} - TSICV_{med}$, para a temperatura superficial da cobertura verde.

Sendo:

$TILT_{med}$: média das temperaturas do ar interno na edificação com laje tradicional;

$TICV_{med}$: média das temperaturas do ar interno na edificação com cobertura verde;

$TSILT_{med}$: média das temperaturas superficiais internas na laje tradicional;

$TSICV_{med}$: média das temperaturas superficiais internas na cobertura verde;

TE_{med} : média das temperaturas do ar externo;

$TSELT_{med}$: média das temperaturas superficiais externas na laje tradicional;

$TSECV_{med}$: média das temperaturas superficiais externas na cobertura verde.

Para as temperaturas superficiais internas em relação à temperatura do ar externo tem-se:

$\Delta T_{med_SLT} = TE_{med} - TSILT_{med}$, para a temperatura superficial da laje tradicional;

$\Delta T_{med_SCV} = TE_{med} - TSICV_{med}$, para a temperatura superficial da cobertura verde.

2.8. O processo de evapotranspiração

Segundo Soares (2004), a evapotranspiração (E_t), é qualquer processo pelo qual a água da planta ou do solo passa ao estado de vapor. Matematicamente é dada por:

$$E_t = T + I_t + E_s + E_0 \quad (\text{eq. 34})$$

em que T é a transpiração, I_t é a evaporação de água interceptada (particularmente importante em florestas), E_s é a evaporação do solo e E_0 é a evaporação de superfícies livres de água.

De acordo com Lunardi *et al* (2002), diversos são os métodos para a estimativa da evapotranspiração, sendo que a sua escolha depende da disponibilidade de dados climáticos, da precisão necessária, da conveniência e do custo. O método original de Penman é um dos mais empregados, cuja fórmula foi derivada assumindo proporcionalidade entre a evaporação da água e a evapotranspiração da vegetação sub-irrigada. Usando a relação entre os fluxos de calor sensível e latente, e o poder evaporante do ar à sombra, Penman, eliminou medidas de superfície, inexistentes em estações meteorológicas convencionais, e em 1948 desenvolveu a seguinte equação:

$$ET_0 = \frac{WR_n}{\lambda} + (1 - W)E_a \quad (\text{eq. 35})$$

sendo: ET_0 a evapotranspiração em mm d^{-1} , λ calor latente de evaporação em MJ kg^{-1} , R_n (saldo de radiação) em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, W fator de ponderação dependente da temperatura do ar e E_a o poder evaporante do ar em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ dado por:

$$E_a = f(U)\Delta_e \quad (\text{eq. 36})$$

onde: Δ_e é o déficit de pressão de vapor em kPa e $f(U)$ dado pelo modelo:

$$f(U) = m(a + bU) \quad (\text{eq. 37})$$

que, segundo Penman, assume os seguintes valores:

$$f(U) = 6,43(1 + 0,526U) \quad (\text{eq. 38})$$

onde: U é a velocidade do vento a 2,0 m de altura em m s^{-1} , m em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{kPa}^{-1}$, a é adimensional e b em s m^{-1} .

Monteith, *apud* Snyder e Paw U (2002), com base na formulação de Penman, desenvolveu uma equação que inclui fatores de resistência aerodinâmica e resistência ao fluxo de vapor pela folha (figura 2.12). Essa equação combinada passou a ser chamada de equação de Penman-Monteith, representada por:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_s}{r_a})} \quad (\text{eq. 39})$$

sendo λET o fluxo de calor latente ou evapotranspiração em $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, Δ a declividade da pressão de vapor de saturação em hPaK^{-1} , R_n a radiação líquida em Wm^{-2} , G o fluxo de calor solar em $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, ρ_a a densidade do ar a uma pressão constante em kgm^{-3} , c_p o calor específico em $\text{Wkg}^{-1}\text{C}^{-1}$, $(e_s - e_a)$ o déficit de pressão de vapor do ar em kPa , γ a constante psicrométrica em kPaK^{-1} e r_s e r_a as resistências superficial e aerodinâmica, respectivamente em sm^{-1} .

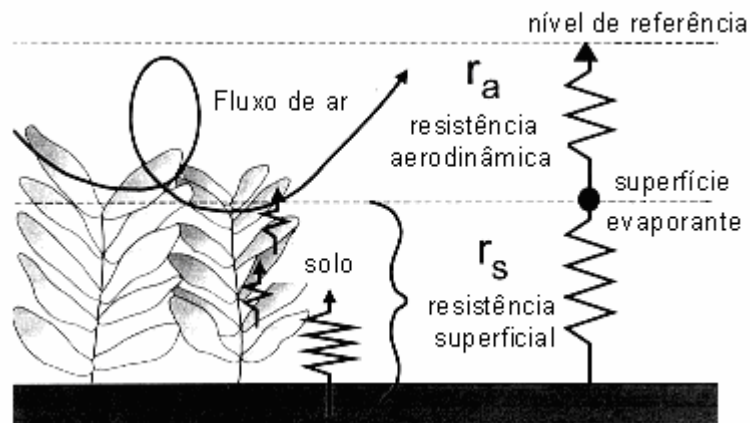


Figura 2.12: Esquema simplificado das resistências superficial e aerodinâmica

Fonte: Adaptação de WWW.FAO.ORG, 2007

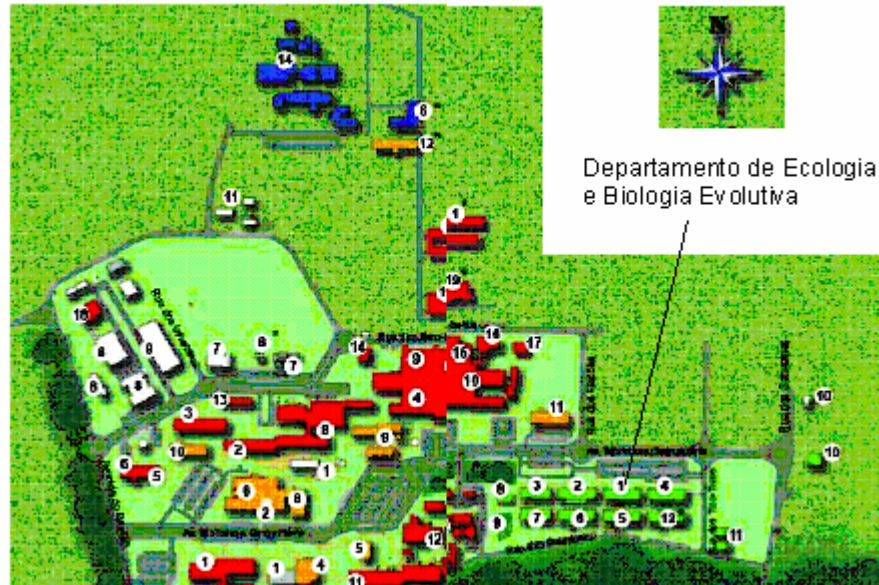


Figura 3.2: Localização das células-teste na UFSCar

Fonte: WWW.UFSCAR.BR, 2006

Essa edificação possui dois ambientes separados ao meio por uma parede. O sistema construtivo é composto de alvenaria de bloco cerâmico de 8 furos e revestida com argamassa sob pintura acrílica nas vedações verticais laterais e frontal. As vedações horizontais são de lajes pré-moldadas de concreto com camada de regularização em argamassa. A vedação posterior é composta por elementos vazados em toda sua extensão. As figuras 3.3 e 3.4 mostram a edificação e as células-teste.

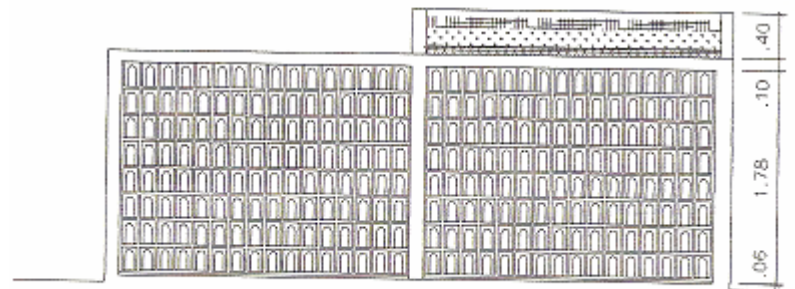
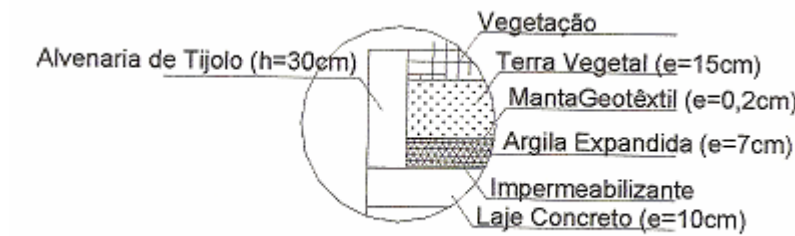
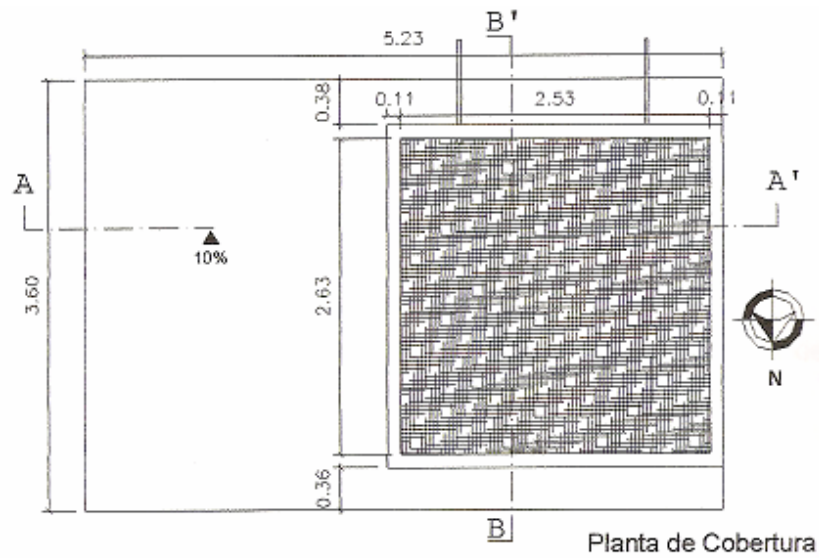


Figura 3.3: Fachada frontal da edificação na UFSCar

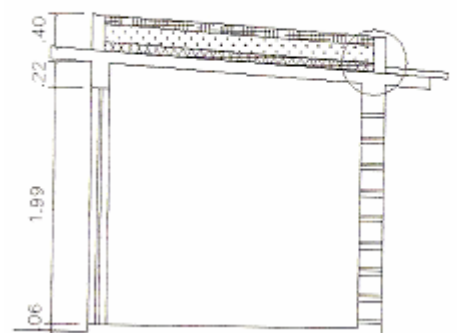
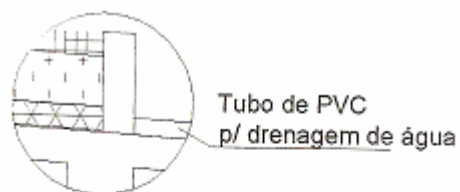


Figura 3.4: Fachada posterior da edificação na UFSCar

A figura 3.5 mostra o projeto da construção, bem como o detalhe da célula-teste com cobertura verde, mostrando suas partes constituintes.



Corte AA'



Corte BB'

Figura 3.5: Projeto de construção da célula-teste com cobertura verde

Fonte: MORAIS, 2004

Fases de alteração da célula-teste com cobertura verde

Nesta célula-teste foi realizada recentemente uma pesquisa similar com a grama Esmeralda, a qual foi substituída pela grama Braquiária (figura 3.6).

Primeira etapa: Escolha da grama

Foi selecionada uma espécie que obedecesse aos seguintes critérios:

plantas resistentes ao clima da cidade de São Carlos;

tamanho e desenvolvimento das raízes, não sendo aconselhável o uso de plantas com raízes que possam danificar a laje e o sistema de impermeabilização;

a parte aérea das plantas de modo que não fosse produzido muito material orgânico que pudesse dificultar a drenagem;

tempo curto de crescimento das plantas;

plantas que não servem como habitat de animais perigosos (por exemplo bromélias, que possibilitariam a criação de larvas do mosquito *Aedes aegypti*);

plantas com folhas de superfície grande – melhoram a retenção da água, o sombreamento do substrato, diminuem mais a temperatura do ambiente através da evaporação e da evapotranspiração e diminuem o impacto das chuvas torrenciais, protegendo o substrato contra a erosão.



Figura 3.6: Panorama dos canteiros com as gramas Esmeralda (direita) e Braquiária (esquerda)

Segunda etapa: Retirada da grama Esmeralda

Nesta etapa foram retiradas as mantas de grama Esmeralda cuidadosamente, para não danificar os outros componentes do sistema. Não foram feitas alterações na cobertura verde após a retirada da grama (figura 3.7).



Figura 3.7: Retirada da grama Esmeralda

Terceira etapa: Colocação da grama Braquiária

Etapa que envolveu o plantio da nova vegetação, constituída por aproximadamente 6.65m² de grama Braquiária (*Brachiaria humidicola*), em torrões de dimensões variadas (figura 3.8).



Figura 3.8: Colocação da grama Braquiária

3.2. Equipamento utilizado nos monitoramentos

Para monitorar as condições higrotérmicas ambientais foi adotado um sistema eletrônico de aquisição de dados, constituído por aparelhos registradores de temperatura e umidade relativa do ar e temperatura superficial, modelo HOB0[®], fabricado nos Estados Unidos pela empresa “ONSET Computer Corporation”.

Esses aparelhos são programáveis em intervalos de tempo pré-fixados. O sistema apresenta precisão e capacidade de armazenamento de dados satisfatórias, cujas medições de temperatura e umidade relativa do ar variam de -20° a 70°C, com resolução de ±0.38° a 21°C e de 25 a 95%, com resolução de ±5%, respectivamente (HOB0[®]..., 2006).

Em medição piloto foi constatado que esses instrumentos são extremamente sensíveis às radiações térmicas, mesmo em ambientes internos. De modo a evitar interferências que prejudicassem a identificação das variáveis medidas, os aparelhos foram posicionados estrategicamente à sombra e no interior de recipientes de alumínio, estes com pequenas aberturas que permitissem a circulação do ar (figura 3.9).



Figura 3.9: Aparelho HOBO® posicionado em recipiente de alumínio

As variáveis medidas foram as seguintes:

TE e TI (°C): temperaturas do ar externo e interno às células-teste;

TSI (°C): temperatura superficial interna das lajes;

UR (%): umidade relativa do ar externo.

Os dados de temperatura superficial interna das lajes foram obtidos mediante sensor externo (conectado diretamente no HOBO®) com ponta de aço inoxidável e à prova d'água, com variação de medição de -40° a 100°C e resolução de $\pm 0.50^\circ$ a 20°C (HOBO® ..., 2006).

Para melhorar o contato e eliminar ar entre o sensor e a laje, o mesmo teve sua ponta preenchida com pasta térmica e foi fixado na laje com fita adesiva e fio de nylon (figura 3.10).

Os dados climáticos mensais, para comparar com os dados medidos experimentalmente, e de ventos foram obtidos junto à estação climatológica da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC / Universidade de São Paulo, e os dados de radiação solar foram fornecidos pelo Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA / Universidade de São Paulo.



Figura 3.10: Ponteiro metálico preenchido com pasta térmica e fixado na laje com fita adesiva e fio de nylon

3.3. Temperaturas Superficiais em Vegetação

Os dados referentes às temperaturas superficiais externas das coberturas foram estimados por intermédio do programa Jardim 1.1 – Temperaturas Superficiais em Vegetação (RORIZ, 2003), que adota um modelo de cálculo baseado no método de Penman-Monteith, cuja equação determina a taxa de evapotranspiração da água em plantas e no solo (item 2.8).

De acordo com Roriz (2003), a temperatura superficial externa da laje comum é estimada a partir da temperatura ar-sol de uma laje sem vegetação, de cor média, com uma absorvância de 0.6, submetida às mesmas condições que a cobertura com vegetação, ao passo que a temperatura da superfície de folhas da grama é estimada por equações baseadas na temperatura do ar externo (TBS) (°C), na resistência ao fluxo turbulento (r_a) (s/m), na radiação líquida (R_{Liq}) (W/m^2), na energia de evaporação (Ev_{Evp}) (W/m^2) e no produto entre a densidade e o calor específico do ar (tabela 3.1).

Os dados de entrada (em hora solar) para que o programa estime as temperaturas superficiais externas em ambas as coberturas são: latitude e altitude do local; dia e mês; altura da vegetação e do vento; albedo; temperatura do ar externo (°C); umidade relativa do ar externo (%); radiação solar (W/m^2) e velocidade do vento (m/s).

De acordo com o arquivo de dados, o programa calcula os valores das variáveis apresentadas na tabela 3.1 e gera dois tipos de gráfico: um com as curvas de temperaturas do ar e superficiais externas nas duas coberturas, e outro com as curvas de irradiações extraterrestre, global, de onda longa, líquida e energia de evaporação. As equações, melhor explicadas, e suas respectivas referências são apresentadas no próprio programa.

Tabela 3.1: Variáveis calculadas pelo programa Jardim 1.1

Fonte: RORIZ, 2003

Variável	Equação	Unidade
PVS – Pressão de Vapor Saturante	$PVS=6.11\text{Exp}[(17.27T_{bs})/(T_{bs}+237.31)].$	hPa
PVP – Pressão de Vapor	$PVP=(UR/100)PVS$	hPa
DPS – Declividade da curva de Pressão Saturante	$DPS=4098.17PVS/[(T_{bs}+237.3)^2]$	HPa/K
Kt – Índice de limpidez atmosférica	$Kt=Rad/ET$	-
RL – Radiação em ondas longas	$RL=5.67E-8(TK^4)[0.56-0.08(PVP/0.5)](1.35Kt-0.35)$	W/m ²
RLiq – Radiação Líquida	$RLiq=[Rad(1-Albedo)]-RL$	W/m ²
LAI – Índice de Área Foliar	$LAI=-2.984+N1+N2$	-
ra – Resistência Aerodinâmica ao fluxo turbulento	$ra=\{Ln[Hven-(0.63Hveg)/0.13Hveg]^2\}/0.1681VeIVen$	s/m
rv – Resistência Superficial ao fluxo de vapor	$rv=200/LAI$	s/m
CLV – Calor Latente de Vaporização	$CLV=2.50326-0.00242T_{bs}$	MJ/Kg
EnEvp – Energia de Evaporação	$EnEvp=N1/N2$	W/m ²
TxEvp – Taxa de Evaporação	$TxEvp=0.0036EnEvp/CLV$	W/m ²
TSA – Temperatura Sol-Ar	TSA=estimativa da temperatura que ocorreria na superfície externa da laje comum	°C
TsV – Temperatura Superficial da Vegetação	$TsV=T_{bs}+ra(RLiq-EnEvp)/1209.52$	°C

3.4. Influência da posição do sol

Durante a fase de crescimento da grama, observou-se que em certos locais no canteiro, a vegetação apresentava um maior crescimento. Isso se deve à desigualdade de distribuição de luz sobre o canteiro, pois a presença de edificações ao redor do mesmo faz com que haja um sombreamento em determinados locais e horários ao longo do dia.

As figuras 3.11 e 3.12 mostram os locais sombreados em diferentes períodos.



Figura 3.11: Posição do sol durante as medições em junho e julho / agosto de 2006



Figura 3.12: Posição do sol durante as medições em novembro de 2006 e março de 2007

3.5. Medições

Após o treinamento no uso e instalação dos aparelhos registradores, as medições foram iniciadas. Estas foram realizadas em quatro períodos, sendo nos meses de junho e julho / agosto de 2006, para o período de frio e, novembro de 2006 e março de 2007, para o período de calor. Realizaram-se duas medições no período de frio e duas no de calor para aumentar a base de dados e assim confirmar o comportamento da cobertura verde nessas situações.

A fim de obter dados relativos à evolução térmica das lajes, os aparelhos registradores foram programados para realizar varreduras de temperatura do ar interno e externo à edificação, umidade relativa do ar e temperatura superficial interna das lajes, a cada 15 minutos, 24 horas por dia.

Para obtenção dos dados internos à edificação, as variáveis ambientais foram medidas em um ponto de cada cobertura. Os aparelhos foram instalados em dois conjuntos formados, cada um deles, por um registrador de temperatura e umidade relativa do ar, inserido no recipiente de alumínio, e de temperatura superficial, obtida com o cabo sensor instalado nas faces internas das lajes, onde a incidência solar sobre a grama predomina durante todo o dia (figura 3.13). Os dados externos de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos a partir de um aparelho HOBO inserido em um recipiente de alumínio, instalado no edifício à frente das células-teste como mostra a figura 3.14.



Figura 3.13: Recipiente de alumínio que armazena o HOBO® para medições internas



Figura 3.14: Recipiente de alumínio que armazena o HOBO® para medições externas

A tabela 3.2 mostra os períodos em que as medições foram realizadas.

Tabela 3.2: Períodos em que foram realizadas as medições

Medições	
Período de frio	14 a 23 de junho de 2006
	25 de julho a 07 de agosto de 2006
Período de calor	17 a 26 de novembro de 2006
	16 a 29 de março de 2007

As figuras 3.15 e 3.16 mostram o aspecto da grama nas medições nos períodos de frio e calor, respectivamente.



Figura 3.15: Aspecto da grama nas medições em junho e julho / agosto de 2006



Figura 3.16: Aspecto da grama nas medições em novembro de 2006 e março de 2007

3.6. Tratamento dos dados

De modo a permitir conclusões sobre os desempenhos térmicos dos sistemas de coberturas enfocados, o tratamento dos dados deste trabalho teve por fim efetuar análises comparativas entre os dados obtidos com as medições; os dados estimados pelo programa Jardim 1.1 e os resultados dessas duas análises.

Além disso, montou-se uma planilha baseada no modelo desenvolvido por Del Barrio (1998), para calcular o fluxo térmico nas diferentes camadas da cobertura verde, bem como nas suas interfaces. Entretanto, essa planilha não foi utilizada, pois o modelo não forneceu resultados satisfatórios pela omissão de variáveis necessárias aos cálculos, como: as pressões de vapor no ar externo, no ar entre a vegetação e nas superfícies da vegetação e do solo (anexo C).

A maioria das tabelas, apresentada no capítulo seguinte, refere-se aos valores extremos (máximo e mínimo) das variáveis obtidas por meio das medições e das estimativas e às diferenças entre elas, bem como as médias desses valores.

Ao longo de todo o capítulo seguinte, para designar dados referentes às variáveis, medidas e estimadas, relativas às duas coberturas estudadas, foi utilizada a seguinte terminologia:

TEMax: valor máximo da temperatura do ar externo;

TEMin: valor mínimo da temperatura do ar externo;

URMax: valor máximo da umidade relativa;

URMin: valor mínimo da umidade relativa;

TILTMax: valor máximo da temperatura do ar interno da edificação com laje tradicional;

TILTMin: valor mínimo da temperatura do ar interno da edificação com laje tradicional;

TICVMax: valor máximo da temperatura do ar interno da edificação com cobertura verde;

TICVMin: valor mínimo da temperatura do ar interno da edificação com cobertura verde;

TSILTMax: valor máximo da temperatura superficial interna da laje tradicional;

TSILTMin: valor mínimo da temperatura superficial interna da laje tradicional;

TSICVMax: valor máximo da temperatura superficial interna da cobertura verde;

TSICVMin: valor mínimo da temperatura superficial interna da cobertura verde;

TSELTMax: valor máximo da temperatura superficial externa da laje tradicional;

TSELTMin: valor mínimo da temperatura superficial externa da laje tradicional;

TSECVMax: valor máximo da temperatura superficial externa da cobertura verde;

TSECVMin: valor mínimo da temperatura superficial externa da cobertura verde;

Δ TILT: diferença entre os valores das temperaturas máxima e mínima do ar interno da edificação com laje tradicional;

Δ TICV: diferença entre os valores das temperaturas máxima e mínima do ar interno da edificação com cobertura verde;

Δ TSILT: diferença entre os valores das temperaturas superficiais internas máxima e mínima da laje tradicional;

Δ TSICV: diferença entre os valores das temperaturas superficiais internas máxima e mínima da cobertura verde;

Δ TSELT: diferença entre os valores das temperaturas superficiais externas máxima e mínima da laje tradicional;

Δ TSECV: diferença entre os valores das temperaturas superficiais externas máxima e mínima da cobertura verde.

3.7. Dia Médio

Os dados de temperaturas obtidos com as medições foram ajustados de hora civil para hora solar e separados em horas e não mais em dias, sendo posteriormente calculados os valores médios das temperaturas para cada hora. Posteriormente, construiu-se um gráfico contendo horas solares na abscissa e as temperaturas médias na ordenada, obtendo-se assim o dia médio para cada temperatura medida (ar externo e interno e superficiais interna e externa). Esses gráficos foram desenvolvidos para verificar o comportamento térmico dos dois tipos de coberturas em diferentes horários ao longo do dia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se a seguir os dados referentes aos monitoramentos realizados, a discussão dos comportamentos térmicos das coberturas estudadas, bem como a comparação com o comportamento térmico da grama Esmeralda.

4.1. Medições realizadas no período de frio

4.1.1. Medição em Junho de 2006

As condições climáticas para essa medição apresentaram-se com dias claros e secos, cujas máximas e mínimas temperaturas e umidades relativas do ar podem ser observadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em junho de 2006

Local	TEMáx (°C)	TEMín (°C)	URMáx (%)	URMín (%)
EESC	26.79	9.00	91.10	25.78
Células-teste	25.17	10.60	84.90	28.30

As diferenças entre as temperaturas e umidades relativas do ar medidas na estação climatológica da EESC e na UFSCar, podem ser justificadas pelo motivo da UFSCar estar localizada em uma área de maior altitude e arborização que a EESC.

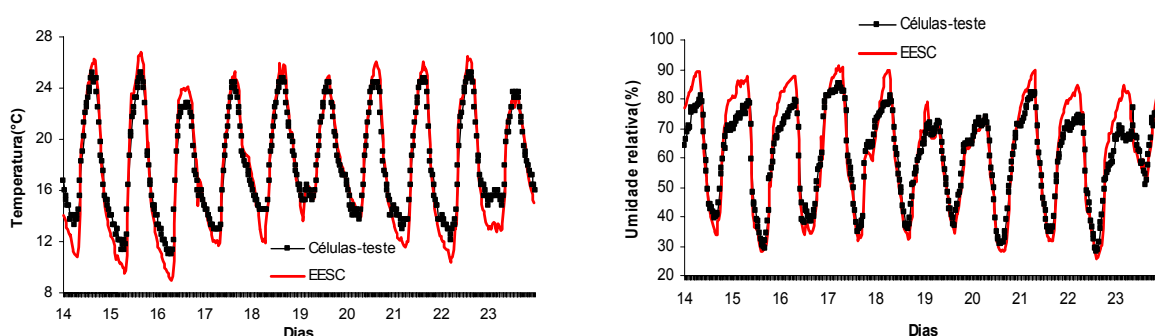


Figura 4.1: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em junho de 2006

Os gráficos da figura 4.1 mostram as curvas de temperaturas e umidades relativas do ar, na estação climatológica da EESC e nas células-teste, durante o período dessa medição. A figura 4.2 apresenta a variação da irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA durante o período de 18 a 23 de junho de 2006. Os dados dos dias de 14 a 17 não foram fornecidos.

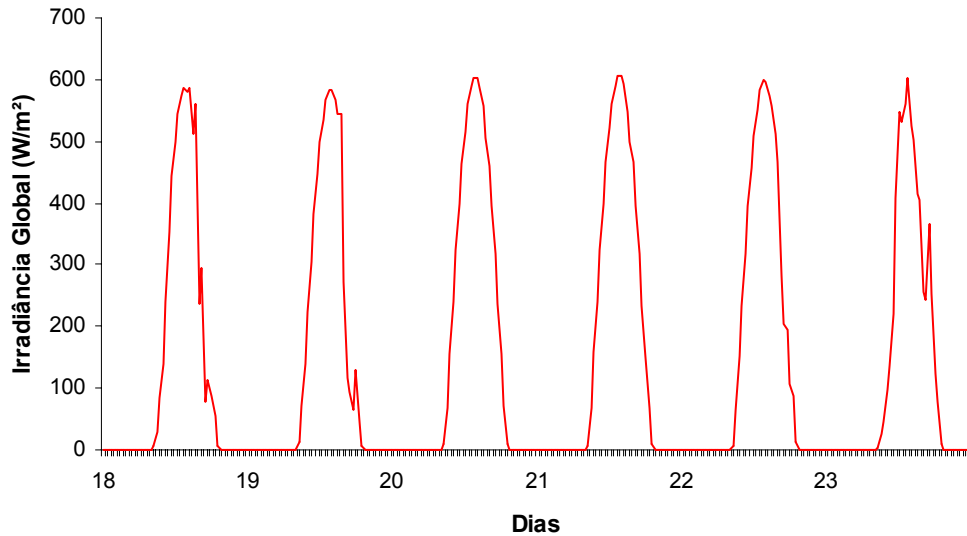


Figura 4.2: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 18 a 23 de junho de 2006

4.1.1.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)

4.1.1.1.1. Temperaturas internas

Os dados de temperaturas internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.3.

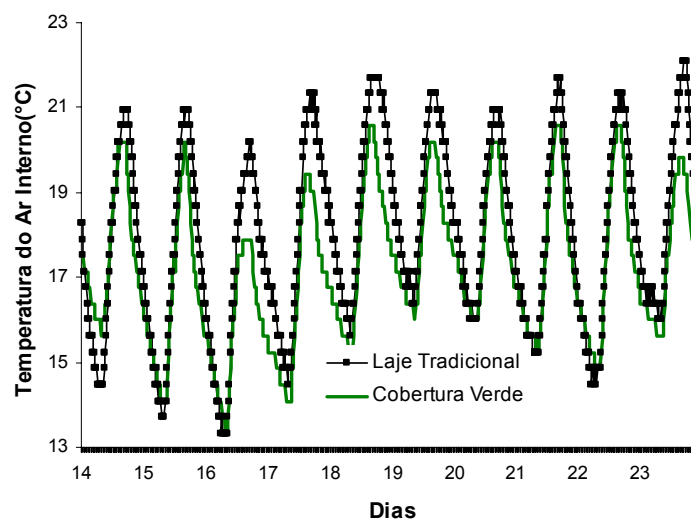


Figura 4.3: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em junho de 2006

A tabela 4.2 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas, bem como as diferenças entre elas.

Tabela 4.2: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em junho de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TIMax LT	TIMin LT	TIMax CV	TIMin CV	Δ TILT	Δ TICV
14	20.95	14.47	20.19	15.62	6.48	4.57
15	20.95	13.70	20.19	14.09	7.25	6.10
16	20.19	13.32	17.90	13.32	6.87	4.58
17	21.33	14.47	19.42	14.09	6.86	5.33
18	21.71	15.62	20.57	15.23	6.09	5.34
19	21.33	16.38	20.19	16.00	4.95	4.19
20	20.95	16.00	20.19	16.00	4.95	4.19
21	21.71	15.23	20.57	15.23	6.48	5.34
22	21.33	14.47	20.57	14.85	6.86	5.72
23	22.09	16.00	19.81	15.62	6.09	4.19
Médias	21.25	14.97	19.96	15.01	6.28	4.95

As diferenças entre as temperaturas do ar interno das células-teste não foram significativas pelo fato da edificação apresentar uma parede formada por elementos vazados, havendo assim uma grande influência do ar externo. A maior e menor diferença entre as temperaturas internas das duas células foram de 2.29°C no dia 16 e -1.15°C no dia 14, respectivamente. Durante o período considerado, a temperatura interna da edificação com cobertura verde manteve-se inferior à da edificação com laje tradicional. Isso porque com a incidência do sol, a evapotranspiração do vegetal retira calor da cobertura, resfriando a superfície do teto. Assim, haverá a diminuição da temperatura do ambiente interior. As figuras 4.4 e 4.5 representam o dia médio desse mesmo período.

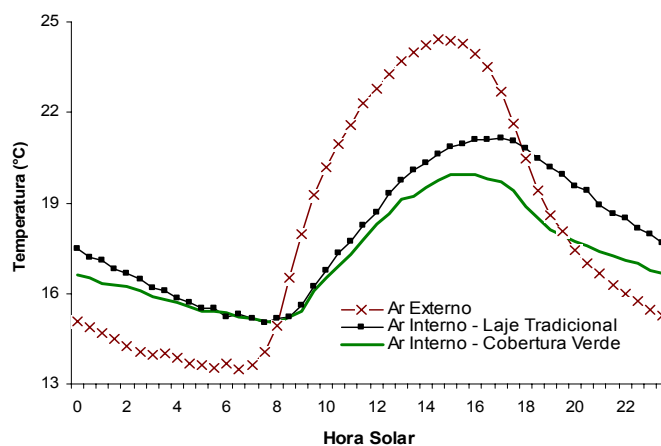


Figura 4.4: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em junho de 2006

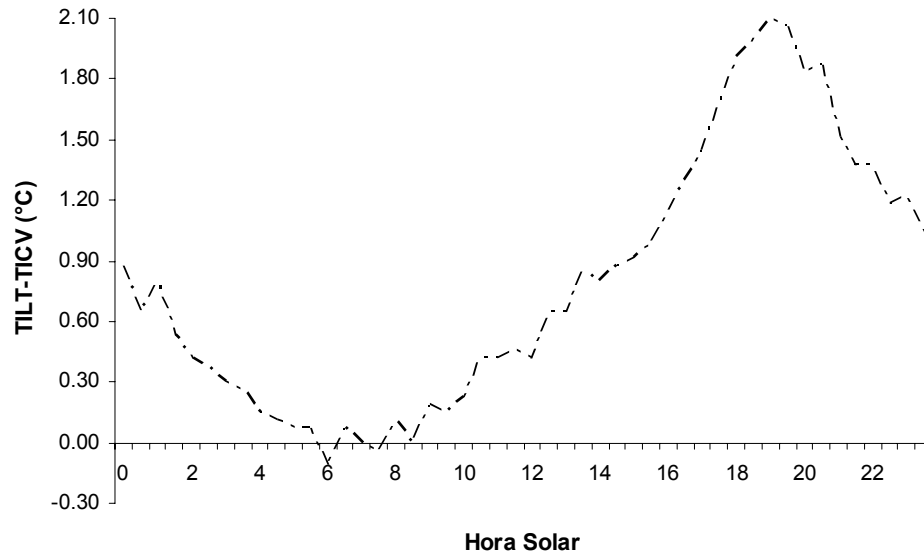


Figura 4.5: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em junho de 2006

4.1.1.1.2. Temperaturas superficiais internas

Os dados de temperaturas superficiais internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.6.

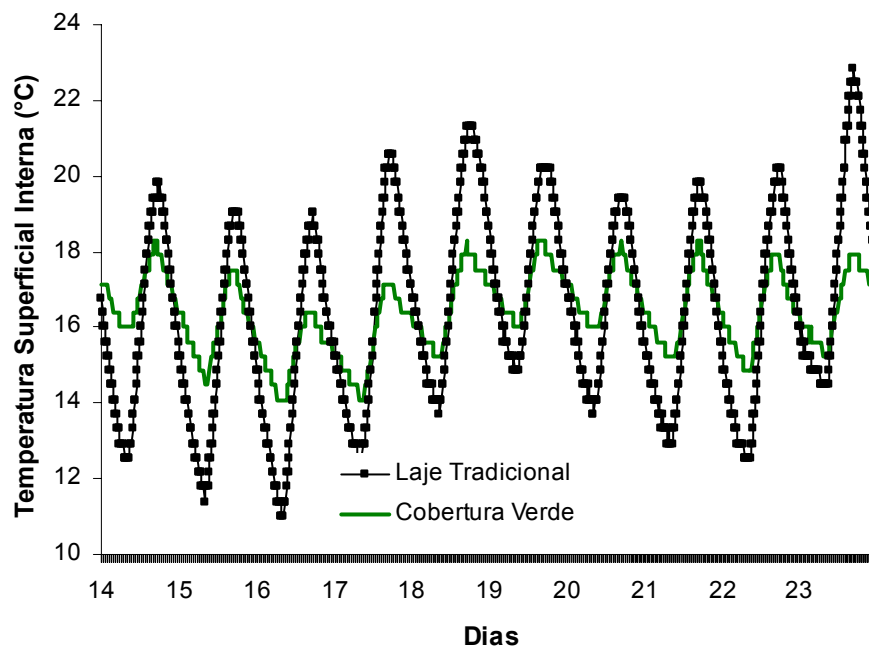


Figura 4.6: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em junho de 2006

A tabela 4.3 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas, bem como as diferenças entre elas.

Tabela 4.3: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em junho de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TSIMax	TSIMin	TSIMax	TSIMin	Δ TSI	Δ TSI
	LT	LT	CV	CV	LT	CV
14	19.81	12.55	18.28	16.00	7.26	2.28
15	19.04	11.38	17.52	14.47	7.66	3.05
16	19.04	10.99	16.38	14.09	8.05	2.29
17	20.57	12.55	17.14	14.09	8.02	3.05
18	21.33	13.70	18.28	15.23	7.63	3.05
19	20.19	14.85	18.28	16.00	5.34	2.28
20	19.42	13.70	18.28	16.00	5.72	2.28
21	19.81	12.93	18.28	15.23	6.88	3.05
22	20.19	12.55	17.90	14.85	7.64	3.05
23	22.86	14.47	17.90	15.23	8.39	2.67
Médias	20.23	12.97	17.82	15.12	7.26	2.70

A laje tradicional apresentou as maiores variações diárias, sendo a temperatura máxima de 22.86°C no dia 23 e a da cobertura verde de 18.28°C nos dias 14, 18, 19, 20 e 21. As temperaturas mínimas foram de 10.99°C no dia 16 para a laje tradicional e de 14.09°C nos dias 16 e 17 para a cobertura verde. Percebe-se que o melhor desempenho foi da cobertura verde por causa do sistema que a forma (camada de solo acrescida de vegetação), diminuindo o aquecimento superficial da laje por radiação solar direta, difusa e refletida, pois tal sistema faz com que haja uma menor absorvância de radiação em relação à laje tradicional, aumentando a inércia térmica. As figuras 4.7 e 4.8 representam o dia médio desse período.

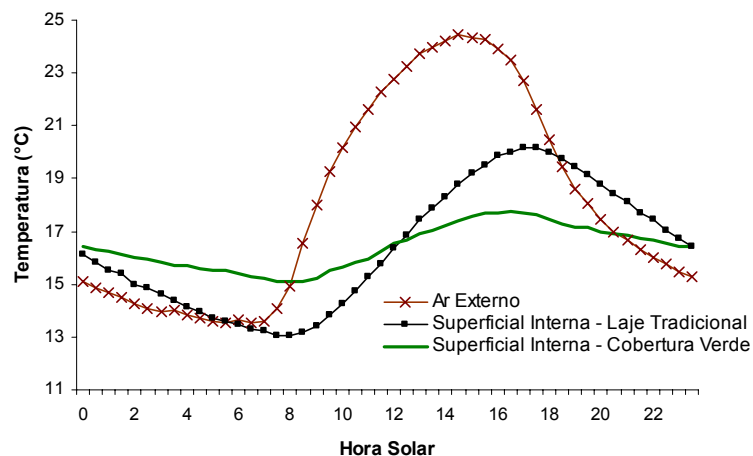


Figura 4.7: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em junho de 2006

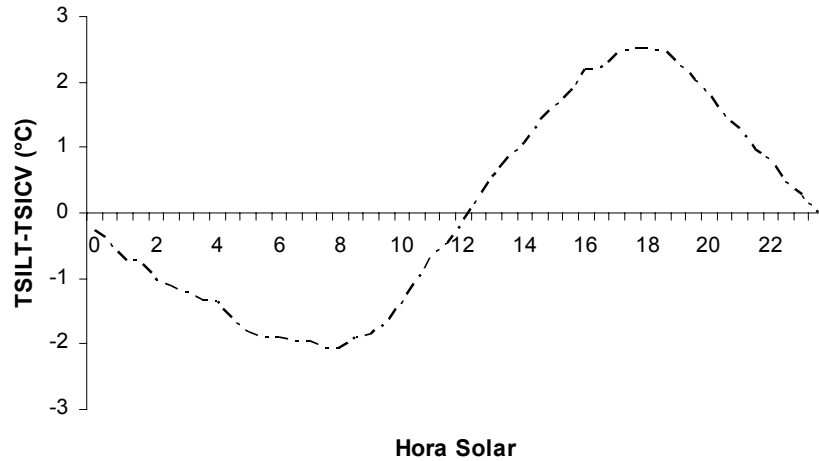


Figura 4.8: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em junho de 2006

4.1.1.1.3. Temperaturas superficiais externas

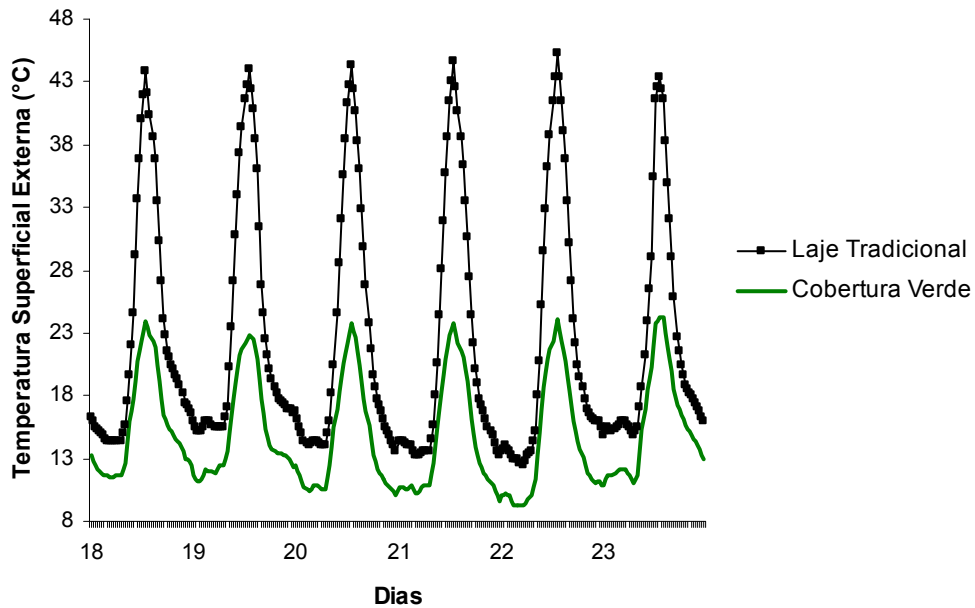


Figura 4.9: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em junho de 2006

Os dados de temperaturas superficiais externas das células-teste com laje tradicional e cobertura verde foram estimados pelo programa Jardim 1.1 desenvolvido pelo professor Maurício Roriz, e são mostrados na figura 4.9.

A tabela 4.4 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas, bem como as diferenças entre elas.

Tabela 4.4: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em junho de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TSEMax LT	TSEMin LT	TSEMax CV	TSEMin CV	Δ TSE LT	Δ TSE CV
18	43.80	14.40	24.00	11.50	29.40	12.50
19	44.00	15.10	22.50	11.20	28.90	11.30
20	44.30	13.60	23.70	10.00	30.70	13.70
21	44.60	13.20	23.80	9.60	31.40	14.20
22	45.30	12.50	24.10	9.20	32.80	14.90
23	43.40	14.80	24.30	10.90	28.60	13.40
Médias	44.23	13.93	23.73	10.40	30.30	13.33

A laje tradicional registrou a temperatura máxima de 45.30°C e a mínima de 12.50°C no dia 22, enquanto as folhas da cobertura verde atingiram a máxima de 24.30°C no dia 23 e a mínima de 9.20°C no dia 22. Isso ocorre por causa da capacidade da vegetação de reduzir o ganho de calor por irradiação solar de ondas curtas, fato justificado pelo sombreamento da laje, o qual reduz a absorção de calor, e o efeito de refrigeração evaporativa. Entre as 8 e 16 horas a redução de calor é maior por causa do efeito da evapotranspiração. As figuras 4.10 e 4.11 representam o dia médio do período.

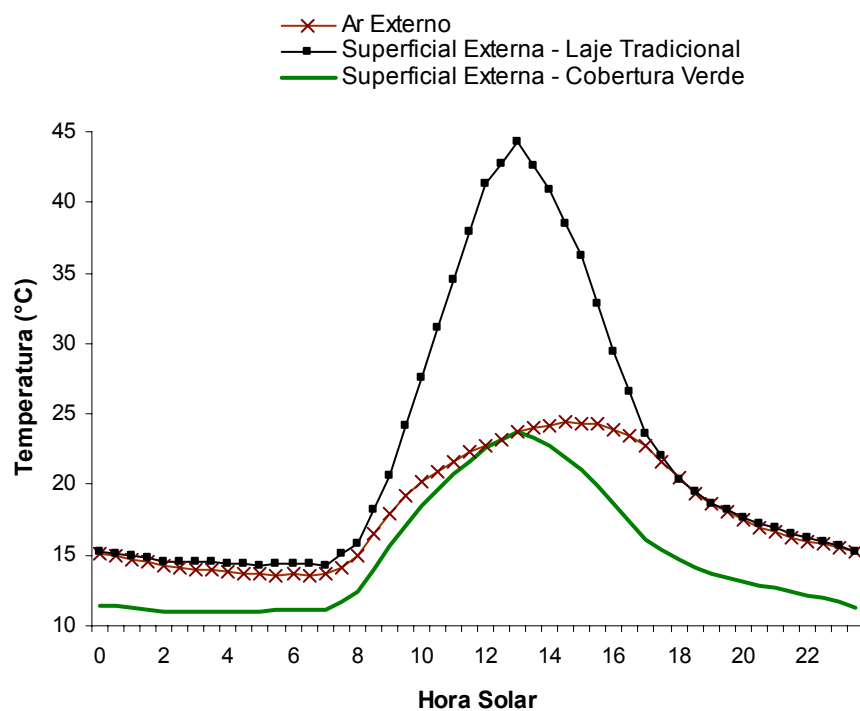


Figura 4.10: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em junho de 2006

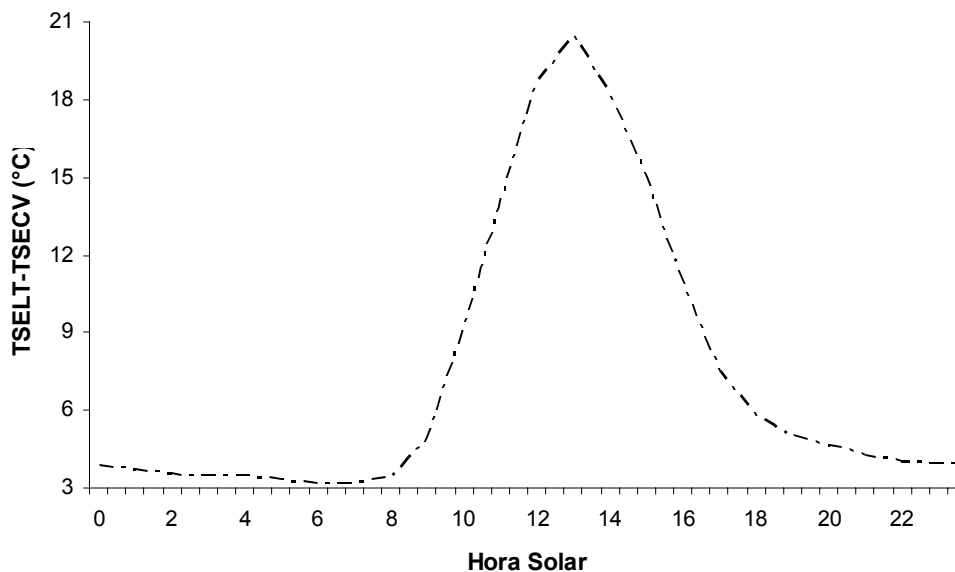


Figura 4.11: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas estimadas da laje tradicional e cobertura verde durante a medição em junho de 2006

4.1.2. Medição em Julho/Agosto de 2006

As condições climáticas nesse período apresentaram-se com as mesmas características do período anterior.

Tabela 4.5: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em julho/agosto de 2006

Local	TEMáx (°C)	TEMín (°C)	URMáx (%)	URMín (%)
EESC	30.99	10.11	97.50	17.53
Células-teste	29.90	10.60	99.00	24.00

Os gráficos da figura 4.12 mostram as curvas de temperaturas e umidades relativas do ar, na estação climatológica da EESC e nas células-teste, durante o período dessa medição. A figura 4.13 apresenta a variação da irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA durante o período de 25 a 30 de julho de 2006. Os dados dos dias de 31 de julho a 07 de agosto não foram fornecidos.

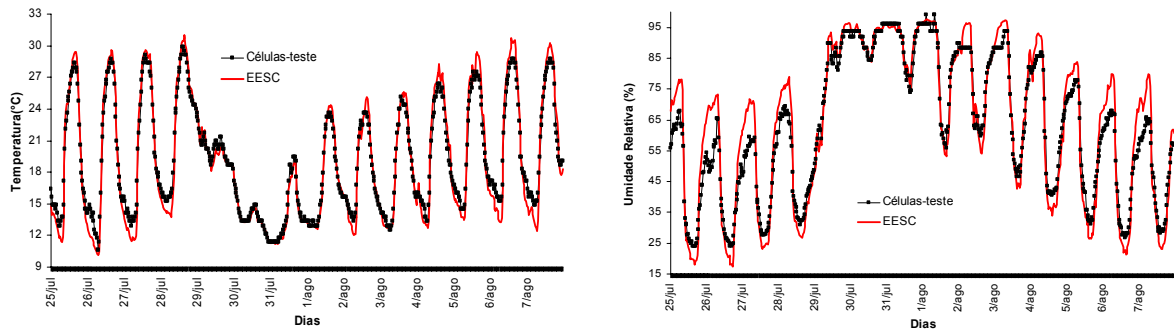


Figura 4.12: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em julho/agosto de 2006

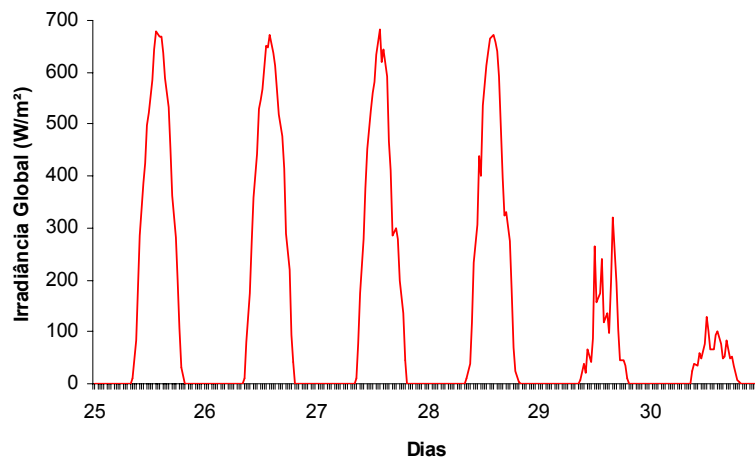


Figura 4.13: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 25 a 30 de julho de 2006

4.1.2.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)

4.1.2.1.1. Temperaturas internas

Os dados de temperaturas internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.14.

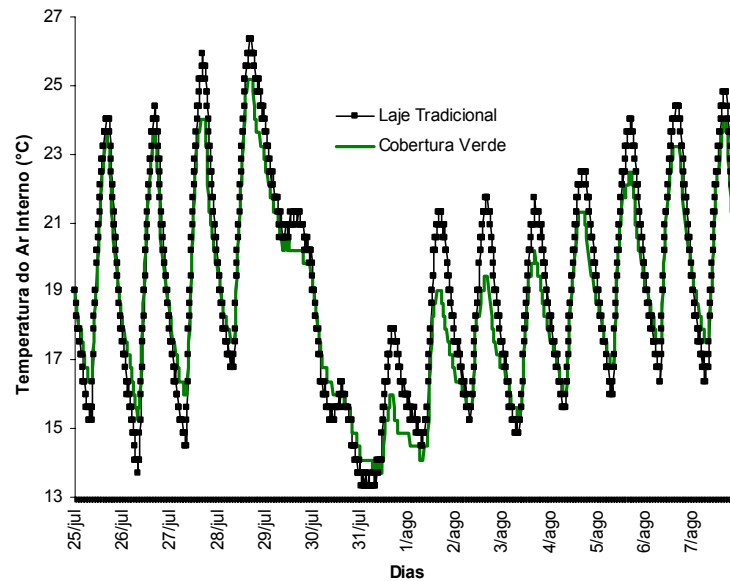


Figura 4.14: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em julho/agosto de 2006

Tabela 4.6: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em julho/agosto de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TIMaxLT (°C)	TIMinLT (°C)	TIMaxCV (°C)	TIMinCV (°C)	Δ TILT (°C)	Δ TICV (°C)
25/jul	24.01	15.23	23.63	16.38	8.78	7.25
26/jul	24.40	13.70	23.63	15.23	10.70	8.40
27/jul	25.95	14.47	24.01	16.00	11.48	8.01
28/jul	26.34	16.76	25.17	17.52	9.58	7.65
29/jul	24.01	19.81	22.86	19.42	4.20	3.44
30/jul	19.42	13.70	19.04	14.47	5.72	4.57
31/jul	17.90	13.32	16.00	13.70	4.58	2.30
1/ago	21.33	14.47	19.04	14.09	6.86	4.95
2/ago	21.71	15.23	19.42	15.62	6.48	3.80
3/ago	21.71	14.85	20.19	15.23	6.86	4.96
4/ago	22.48	15.62	21.33	16.00	6.86	5.33
5/ago	24.01	16.00	22.48	16.76	8.01	5.72
6/ago	24.40	16.38	23.24	17.52	8.02	5.72
7/ago	24.79	16.38	24.01	17.52	8.41	6.49
Médias	23.03	15.42	21.72	16.10	7.61	5.62

Como ocorreu na medição anterior, as diferenças entre as temperaturas do ar interno das células-teste não foram significativas pelo fato das duas células serem influenciadas pelo ar externo, mas entre os dias 01 e 05 de agosto pode ser observado diferenças de até 2.29°C entre as máximas das duas coberturas, mostrando a eficácia da cobertura verde. Houve uma queda brusca na temperatura

do ar externo no dia 30 de julho, provocando alterações na temperatura do ar interno das duas células. A maior e menor diferença entre as temperaturas internas das células foram de 2.29°C nos dias 01 e 02 de agosto e -1.53°C nos dias 26 e 27 de julho, respectivamente. Percebe-se que durante o período considerado, a temperatura interna da célula com cobertura verde manteve-se inferior à da célula com laje tradicional por causa do sombreamento da superfície da laje, a absorção de radiação solar pelo vegetal e a inércia da terra.

As figuras 4.15 e 4.16 representam o dia médio dessas mesmas temperaturas, calculado como descrito anteriormente.

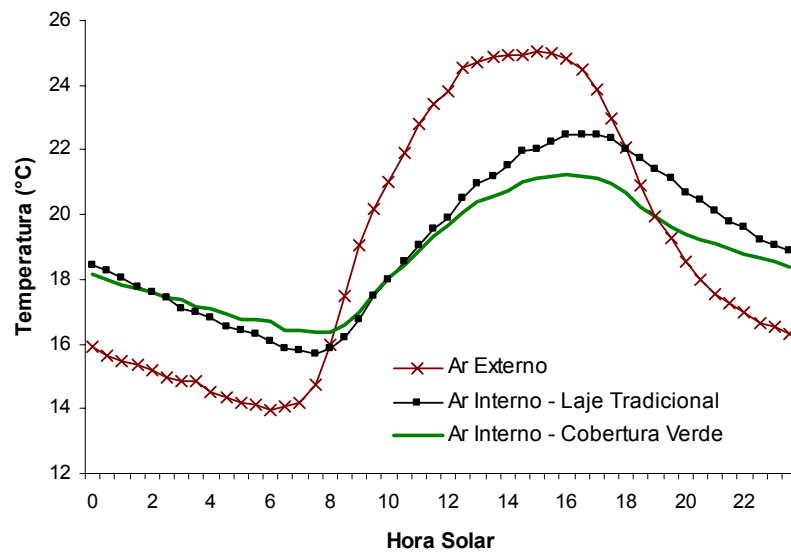


Figura 4.15: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em julho/agosto de 2006

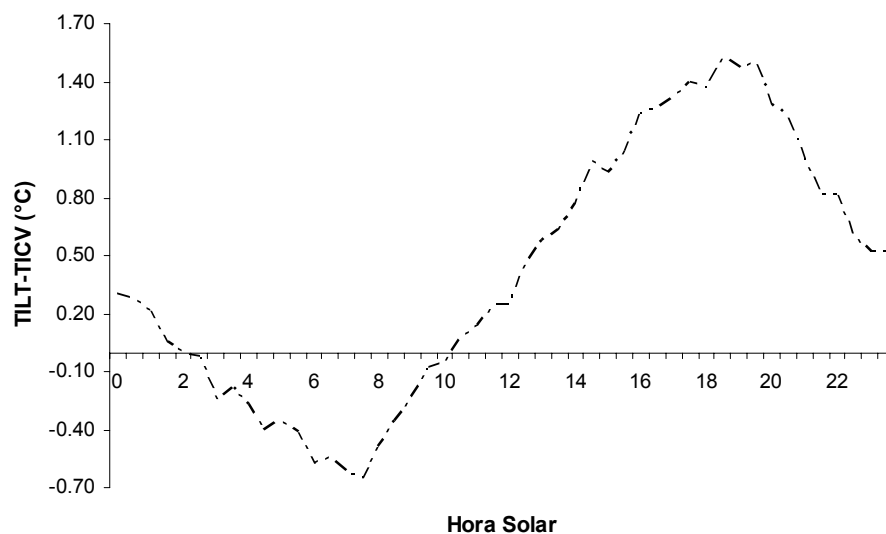


Figura 4.16: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em julho/agosto de 2006

4.1.2.1.2. Temperaturas superficiais internas

Os dados de temperaturas superficiais internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.17.

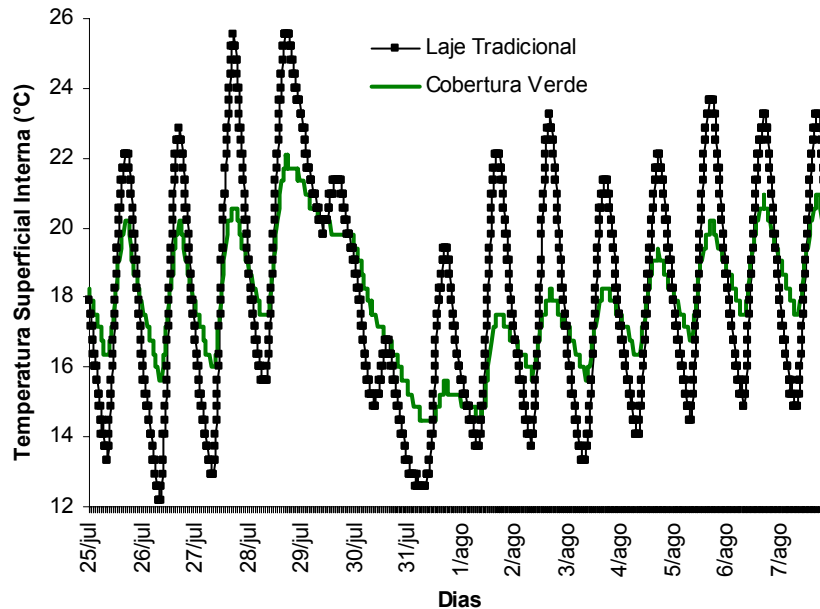


Figura 4.17: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em julho/agosto de 2006

Tabela 4.7: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em julho/agosto de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TSIMax LT(°C)	TSIMin LT(°C)	TSIMax CV(°C)	TSIMin CV(°C)	Δ TSILT (°C)	Δ TSICV (°C)
25/jul	22.09	13.32	20.19	16.38	8.77	3.81
26/jul	22.86	12.16	20.19	15.62	10.70	4.57
27/jul	25.56	12.93	20.57	16.00	12.63	4.57
28/jul	25.56	15.62	22.09	17.52	9.94	4.57
29/jul	23.24	19.04	21.33	19.42	4.20	1.91
30/jul	19.04	13.32	19.42	15.23	5.72	4.19
31/jul	19.42	12.55	15.62	14.47	6.87	1.15
1/ago	22.09	13.70	17.52	14.47	8.39	3.05
2/ago	23.24	13.70	18.28	15.62	9.54	2.66
3/ago	21.33	13.32	18.28	15.62	8.01	2.66
4/ago	22.09	14.09	19.42	16.38	8.00	3.04
5/ago	23.63	14.47	20.19	16.76	9.16	3.43
6/ago	23.24	14.85	20.95	17.52	8.39	3.43
7/ago	23.24	14.85	20.95	17.52	8.39	3.43
Médias	22.62	14.14	19.64	16.32	8.48	3.32

A laje tradicional apresentou as maiores variações diárias, sendo a temperatura máxima de 25.56°C nos dias 27 e 28 de julho e a da cobertura verde de 22.09°C no dia 28 de julho. As temperaturas mínimas foram de 12.16°C no dia 26 de julho para a laje tradicional e de 14.47°C nos dias 31 de julho e 01 de agosto para a cobertura verde. Percebe-se que houve a diminuição do aquecimento superficial da laje com cobertura verde por radiação, provocada pelo sistema que a forma (camada de solo acrescida de vegetação), o qual provoca o aumento da inércia térmica da laje. As figuras 4.18 e 4.19 representam o dia médio.

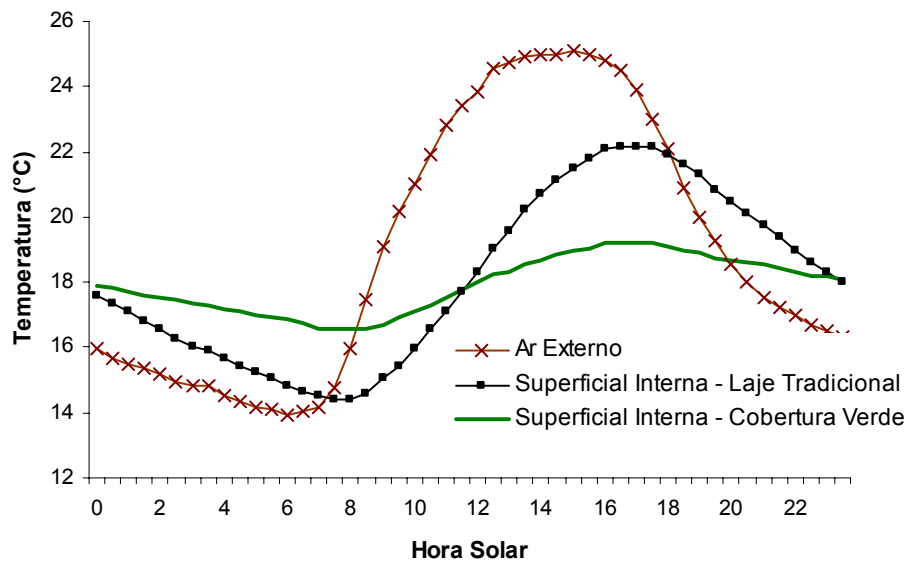


Figura 4.18: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em julho/agosto de 2006

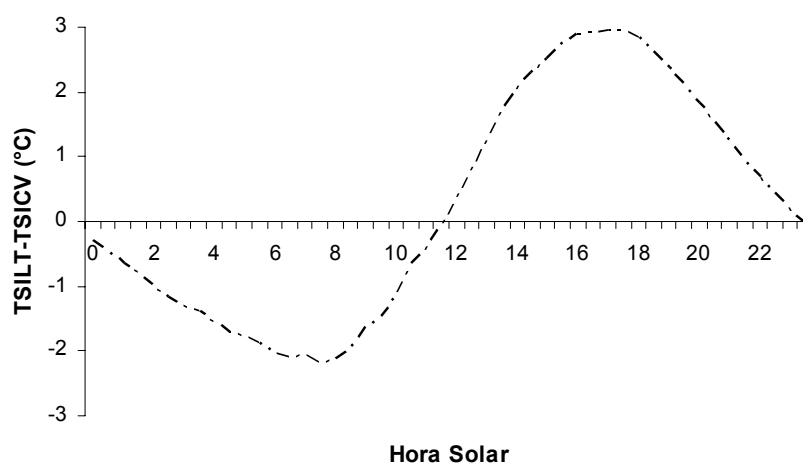


Figura 4.19: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em julho/agosto de 2006

4.1.2.1.3. Temperaturas superficiais externas

Os dados de temperaturas superficiais externas das células-teste com laje tradicional e cobertura verde foram estimados e são mostrados na figura 4.20.

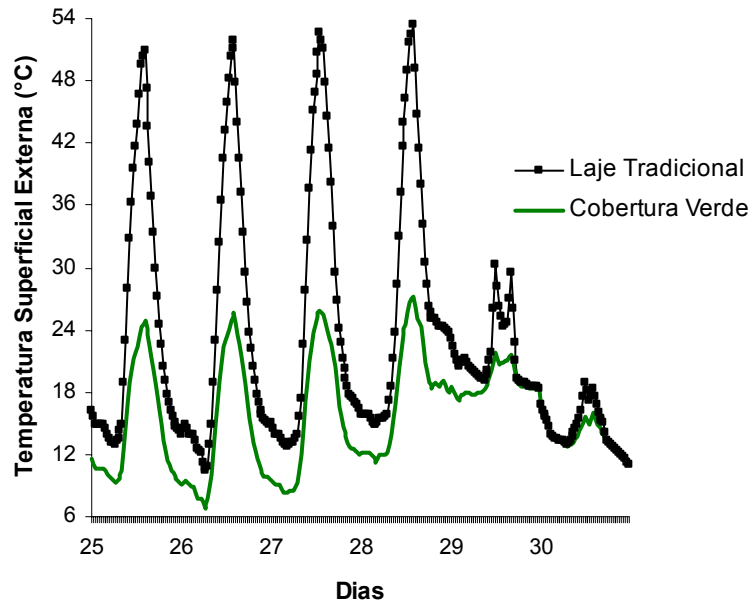


Figura 4.20: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006

A tabela 4.8 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas.

Tabela 4.8: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TSEMax LT(°C)	TSEMin LT(°C)	TSEMax CV(°C)	TSEMin CV(°C)	Δ TSELT (°C)	Δ TSECV (°C)
25	50.90	12.90	24.90	9.30	38.00	15.60
26	51.80	10.50	25.70	6.80	41.30	18.90
27	52.70	12.80	25.65	8.30	39.90	17.35
28	53.50	14.80	27.20	11.30	38.70	15.90
29	30.20	18.40	21.70	17.10	11.80	4.60
30	19.00	11.10	16.10	11.30	7.90	4.80
Médias	43.02	13.42	23.54	10.68	29.60	12.86

A laje tradicional e a cobertura verde registraram as temperaturas máximas de 53.50°C e 27.20°C no dia 28 de julho, e as mínimas de 10.50°C e 6.80°C no dia 26 de julho, respectivamente. Isso ocorre por consequência do efeito de refrigeração

evaporativa, pela redução do ganho de irradiância solar de ondas curtas durante o dia e diminuição da perda de radiação de ondas longas durante a noite.

As figuras 4.21 e 4.22 representam o dia médio dessas mesmas temperaturas.

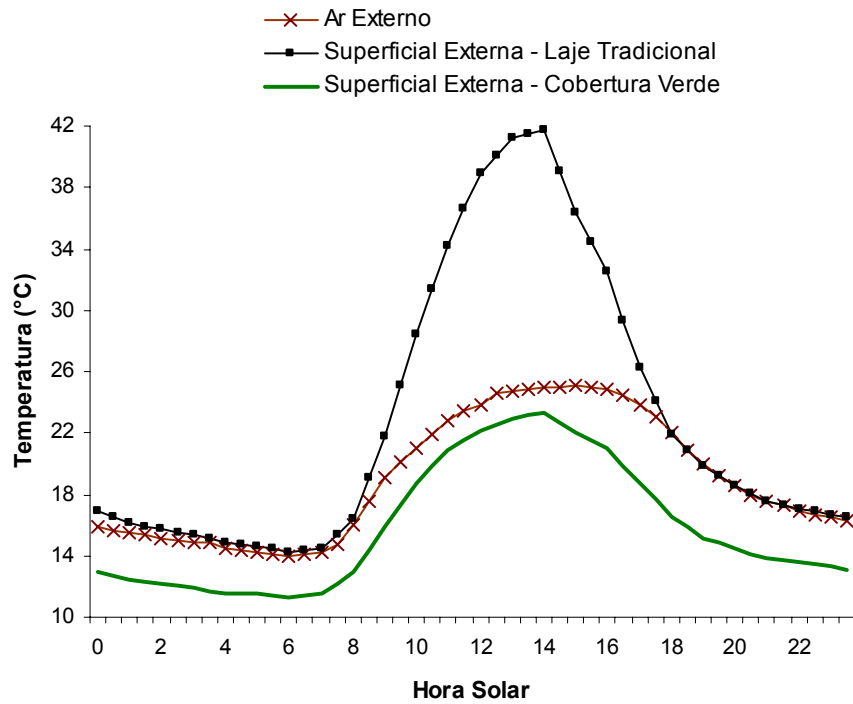


Figura 4.21: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006

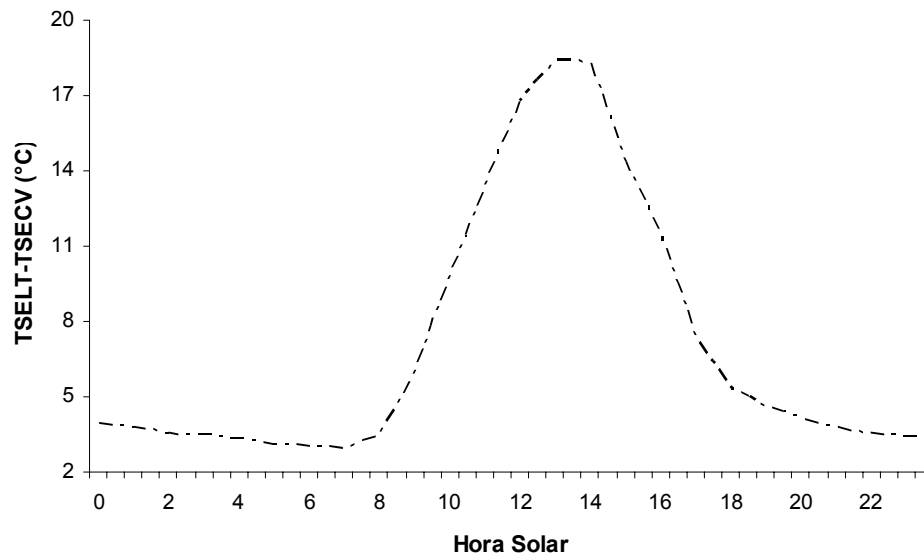


Figura 4.22: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas da laje tradicional e cobertura verde estimadas durante a medição em julho/agosto de 2006

4.2. Medições realizadas no período de calor

4.2.1. Medição em Novembro de 2006

As condições climáticas para essa medição apresentaram-se com dias quentes e secos, cujas máximas e mínimas temperaturas e umidades relativas do ar podem ser observadas na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em novembro de 2006

Local	TEM _{áx} (°C)	TEM _{ín} (°C)	URM _{áx} (%)	URM _{ín} (%)
EESC	33.68	17.07	97.40	29.13
Células-teste	34.43	17.14	98.90	30.50

Os gráficos da figura 4.23 mostram as curvas de temperaturas e umidades relativas do ar, na estação climatológica da EESC e nas células-teste, durante esse período. A figura 4.24 apresenta a variação da irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA durante o período de 17 a 23 de novembro de 2006. Os dados dos dias de 24 a 26 não foram fornecidos.

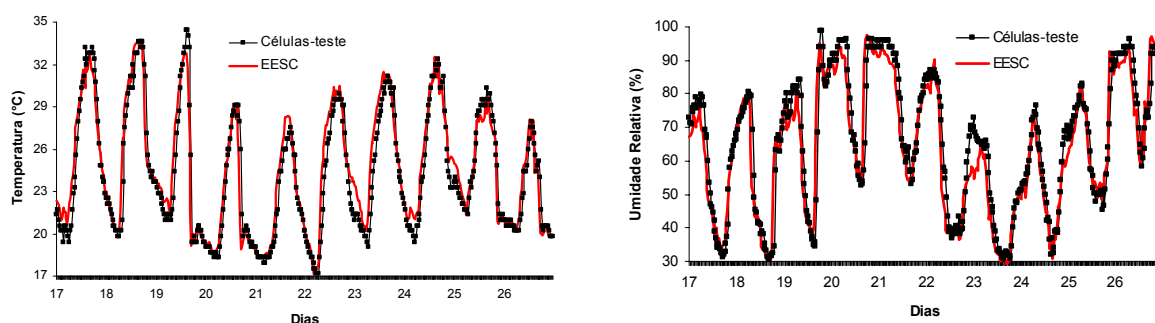


Figura 4.23: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em novembro de 2006

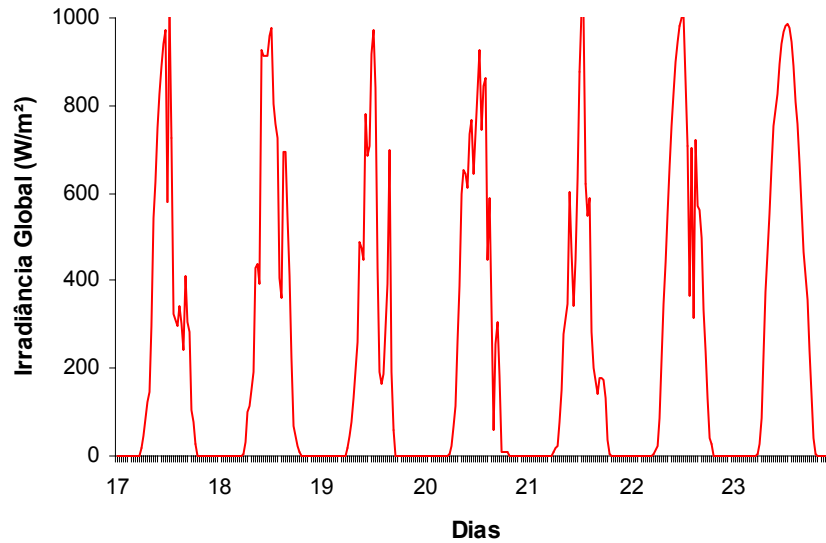


Figura 4.24: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 17 a 23 de novembro de 2006

4.2.1.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)

4.2.1.1.1. Temperaturas internas

Os dados de temperaturas internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.25.

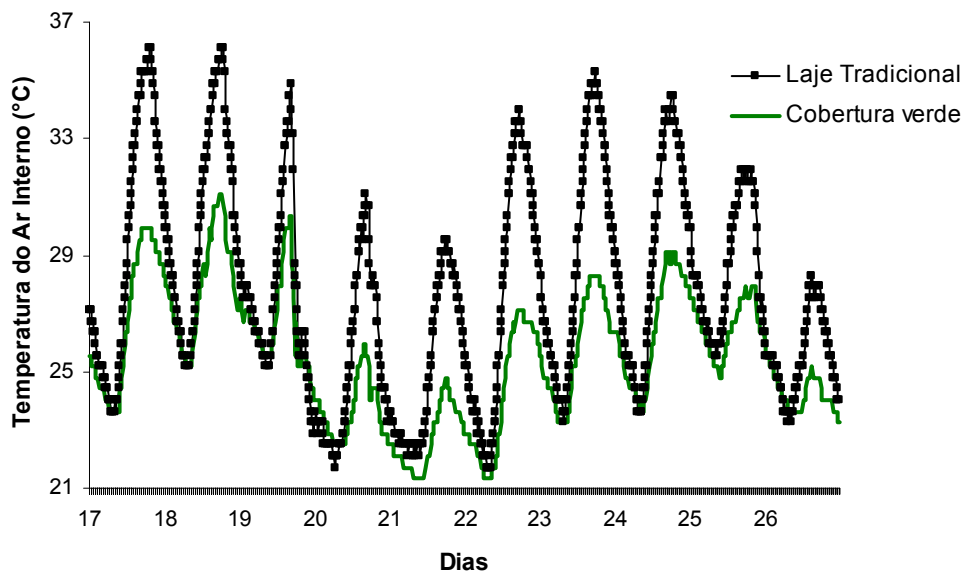


Figura 4.25: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em novembro de 2006

A tabela 4.10 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas.

Tabela 4.10: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em novembro de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TIMax LT	TIMin LT	TIMax CV	TIMin CV	ΔTILT	ΔTICV
17	36.13	23.63	29.90	23.63	12.50	6.27
18	36.13	25.17	31.12	25.17	10.96	5.95
19	34.85	22.86	30.31	24.01	11.99	6.30
20	31.12	21.71	25.95	22.48	9.41	3.47
21	29.50	22.09	24.79	21.33	7.41	3.46
22	34.01	21.71	27.12	21.33	12.30	5.79
23	35.27	23.24	28.31	23.24	12.03	5.07
24	34.43	23.63	29.10	23.63	10.80	5.47
25	31.93	25.56	27.91	24.79	6.37	3.12
26	28.31	23.24	25.95	23.24	5.07	2.71
Médias	33.17	23.28	28.05	23.29	9.88	4.76

No período de calor, as diferenças entre as temperaturas do ar interno das células foram significativas, apesar da edificação apresentar aberturas formadas por elementos vazados, havendo assim uma grande influência do ar externo. A maior e menor diferença entre as temperaturas internas dessas células foram de 6.96°C e -1.15°C nos dias 23 e 19, respectivamente. Durante o período considerado, a temperatura interna da célula com cobertura verde manteve-se inferior à da célula com laje tradicional porque com a incidência do sol, a evapotranspiração do vegetal retira calor da cobertura, resfriando a superfície do teto, além da camada de terra aumentar a inércia térmica da laje e a vegetação protegê-la da radiação solar.

As figuras 4.26 e 4.27 representam o dia médio dessas mesmas temperaturas.

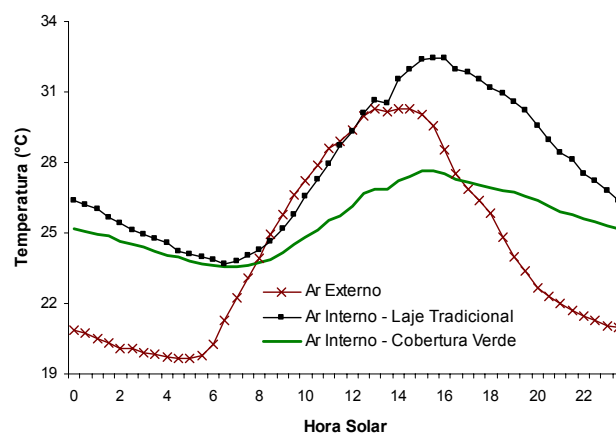


Figura 4.26: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em novembro de 2006

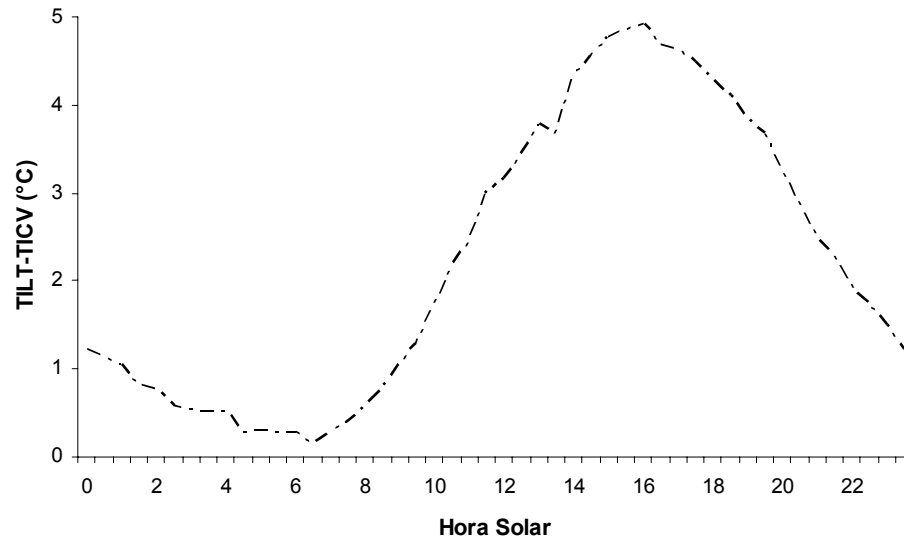


Figura 4.27: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em novembro de 2006

4.2.1.1.2. Temperaturas superficiais internas

Os dados de temperaturas superficiais internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.28.

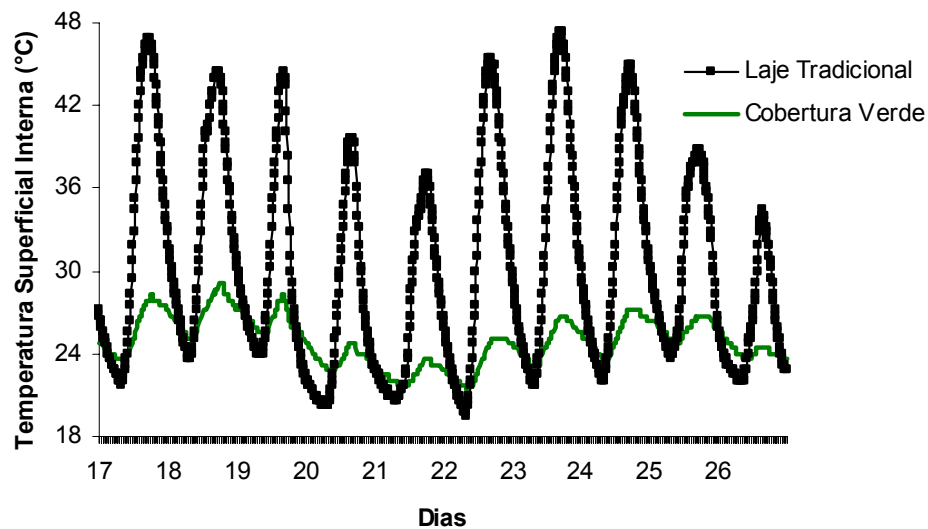


Figura 4.28: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em novembro de 2006

Tabela 4.11: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em novembro de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TSIMax LT	TSIMin LT	TSIMax CV	TSIMin CV	ΔTSI LT	ΔTSI CV
17	46.91	21.71	28.31	23.63	25.20	4.68
18	44.40	23.63	29.10	25.17	20.77	3.93
19	44.40	22.48	28.31	24.79	21.92	3.52
20	39.67	20.19	24.79	22.86	19.48	1.93
21	37.00	20.57	23.63	21.71	16.43	1.92
22	45.39	19.42	25.17	21.33	25.97	3.84
23	47.43	21.71	26.73	23.24	25.72	3.49
24	44.89	22.09	27.12	23.63	22.80	3.49
25	38.77	23.63	26.73	24.79	15.14	1.94
26	34.43	22.09	25.56	23.63	12.34	1.93
Médias	42.33	21.75	26.55	23.48	20.58	3.07

A laje tradicional apresentou as maiores variações diárias, sendo a temperatura máxima de 47.43°C no dia 23, e a da cobertura verde de 29.10°C no dia 18. As temperaturas mínimas foram de 19.42°C no dia 22 para a laje tradicional e de 21.33°C no dia 22 para a cobertura verde. Percebe-se que o melhor desempenho foi da cobertura verde por causa do sistema que a forma, diminuindo o aquecimento superficial da laje por radiação solar, e aumentando a inércia térmica, pois tal sistema faz com que haja uma menor absorção de radiação em relação à laje tradicional. As figuras 4.29 e 4.30 representam o dia médio.

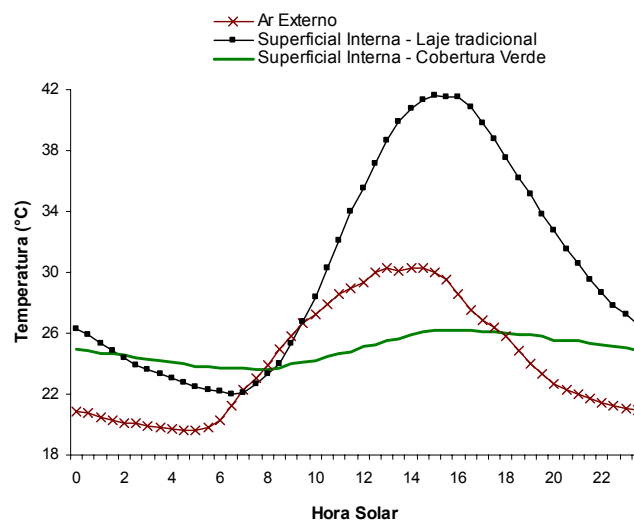


Figura 4.29: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em novembro de 2006

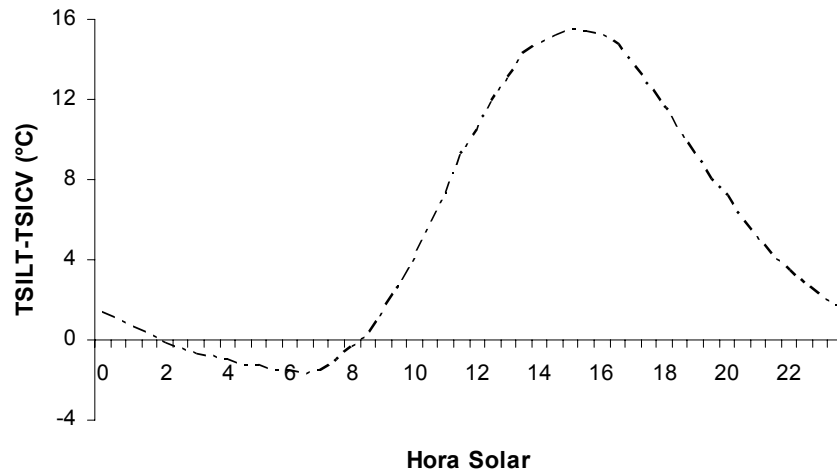


Figura 4.30: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em novembro de 2006

4.2.1.1.3. Temperaturas superficiais externas

Os dados de temperaturas superficiais externas das células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.31.

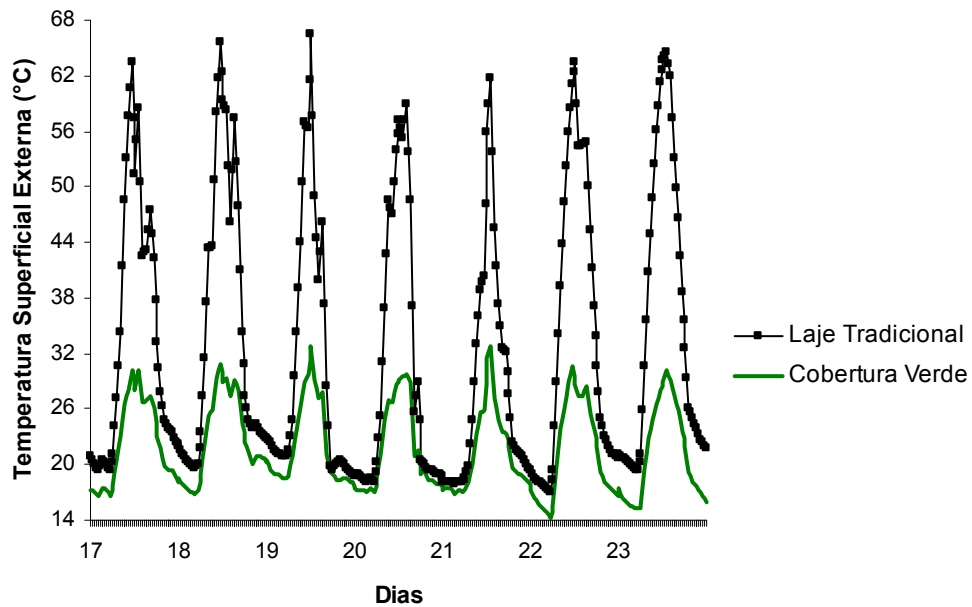


Figura 4.31: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em novembro de 2006

A tabela 4.12 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas.

Tabela 4.12: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em novembro de 2006, bem como a diferença entre elas

Dia	TSEMax LT	TSEMin LT	TSEMax CV	TSEMin CV	ΔTSELT	ΔTSECV
17	63.40	19.30	30.20	16.60	44.10	13.60
18	65.60	19.70	30.90	16.80	45.90	14.10
19	66.50	18.70	32.70	17.70	47.80	15.00
20	59.00	18.20	29.80	17.00	40.80	12.80
21	61.80	17.80	32.70	16.90	44.00	15.80
22	63.50	17.10	30.60	14.30	46.40	16.30
23	64.60	19.30	30.20	15.20	45.30	15.00
Médias	63.49	18.59	31.01	16.36	44.90	14.66

A laje tradicional registrou a temperatura máxima de 66.50°C no dia 19 e a mínima de 17.10°C no dia 22, enquanto as folhas da cobertura verde atingiram a máxima de 32.70°C nos dias 19 e 21 e a mínima de 14.30°C no dia 22. Isso ocorre por causa da capacidade da vegetação de reduzir o ganho de calor por irradiância solar de ondas curtas, fato justificado pelo sombreamento da laje, o qual reduz a absorção de calor, e o efeito de refrigeração evaporativa.

As figuras 4.32 e 4.33 representam o dia médio dessas mesmas temperaturas.

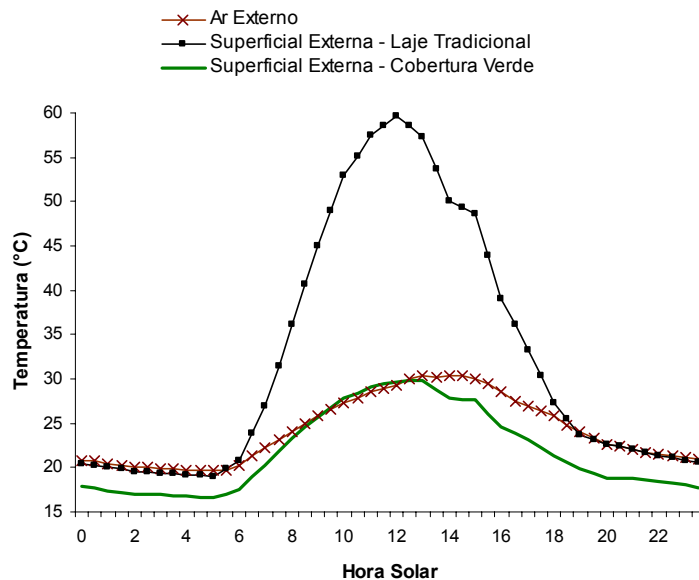


Figura 4.32: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em novembro de 2006

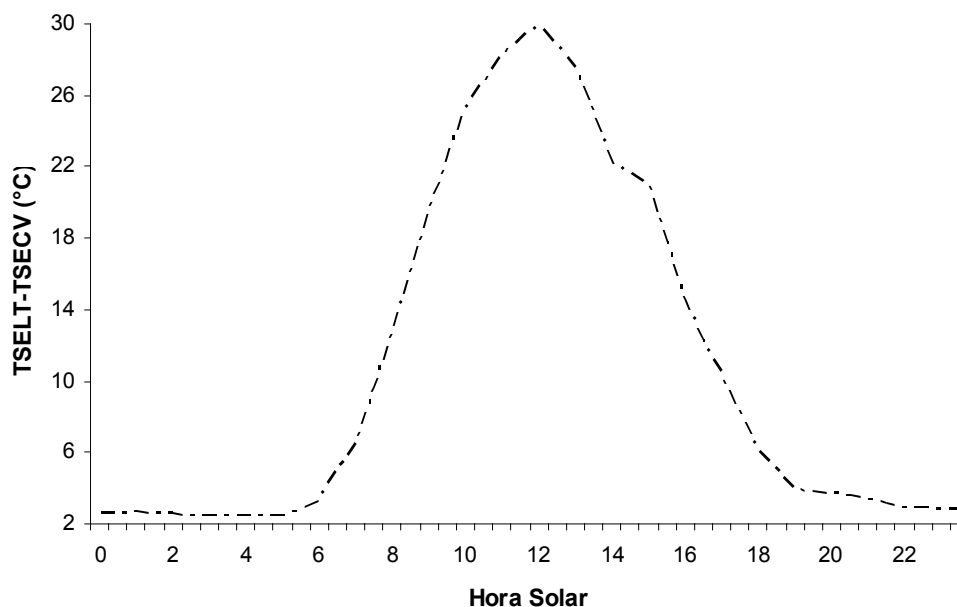


Figura 4.33: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas da laje tradicional e cobertura verde estimadas durante a medição em novembro de 2006

4.2.2. Medição em Março de 2007

As condições climáticas para essa medição apresentaram-se com dias quentes, úmidos no início e secos no final, cujas máximas e mínimas temperaturas e umidades relativas do ar podem ser observadas na tabela 4.13.

Tabela 4.13: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em março de 2007

Local	TEMáx (°C)	TEMín (°C)	URMáx (%)	URMín (%)
EESC	33.10	13.65	96.80	35.28
Células-teste	32.34	12.93	93.80	39.50

Os gráficos da figura 4.34 mostram as curvas de temperaturas e umidades relativas do ar, na estação climatológica da EESC e nas células-teste, durante esse período. A figura 4.35 apresenta a variação da irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA durante o período de 16 a 29 de março de 2007.

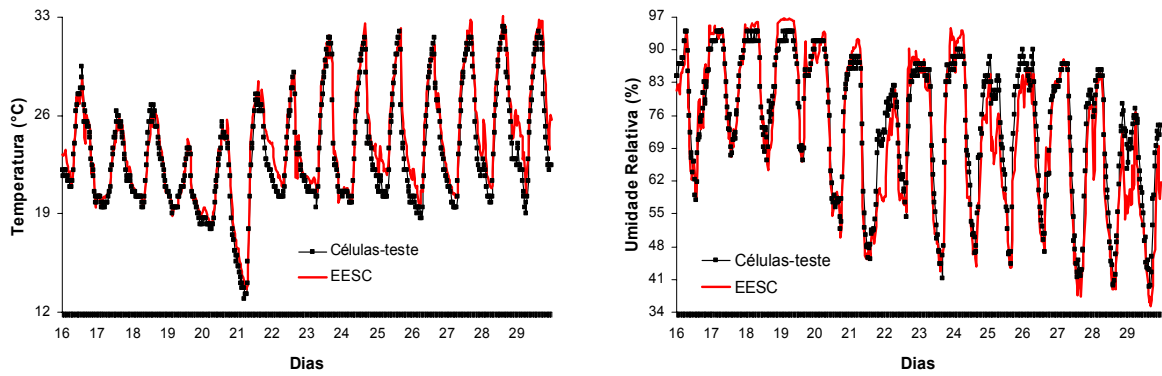


Figura 4.34: Temperaturas e umidades relativas do ar externo durante a medição em março de 2007

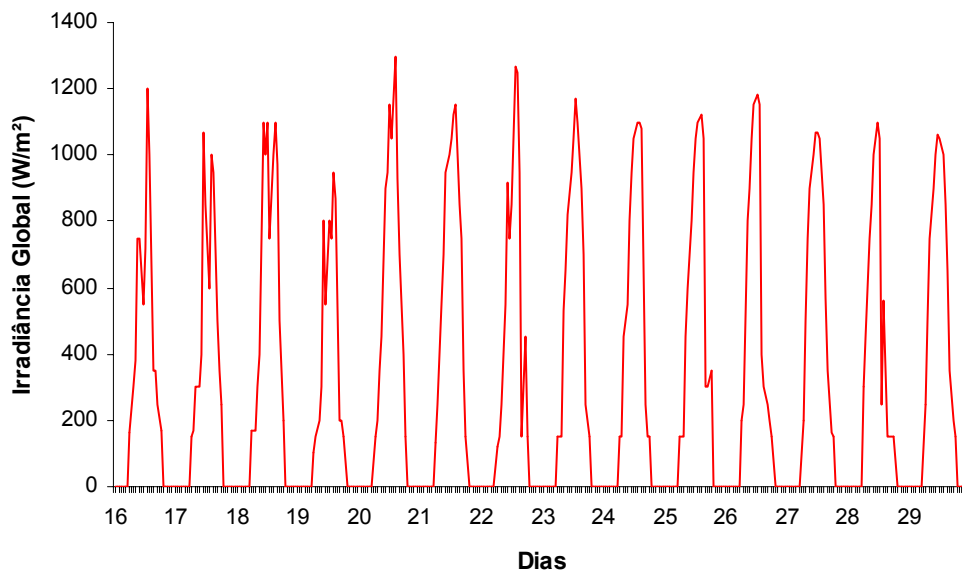


Figura 4.35: Irradiância solar global registrada na estação climatológica do CRHEA no período de 16 a 29 de março de 2007

4.2.2.1. Dados das células-teste: laje tradicional (LT) e cobertura verde (CV)

4.2.2.1.1. Temperaturas internas

Os dados de temperaturas internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.36.

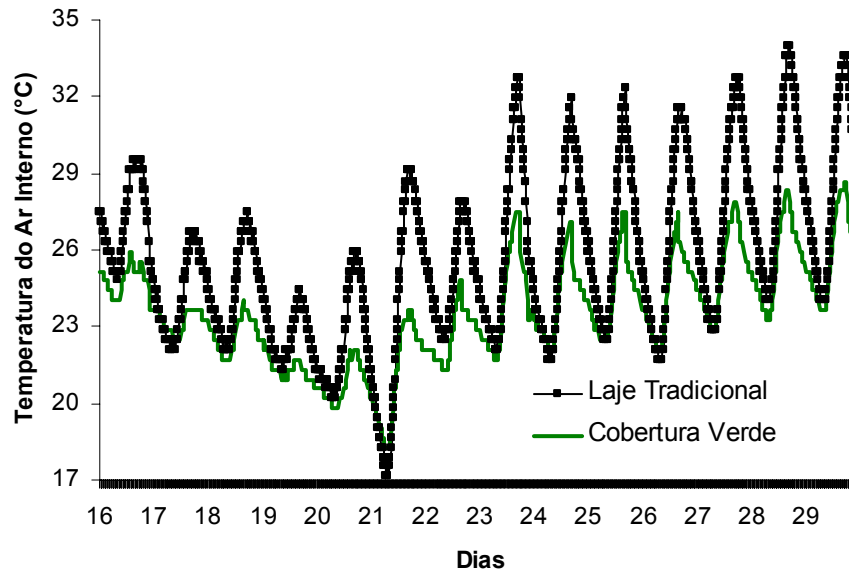


Figura 4.36: Temperaturas do ar interno registradas durante a medição em março de 2007

A tabela 4.14 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas.

Tabela 4.14: Temperaturas máximas e mínimas do ar interno registradas durante a medição em março de 2007, bem como a diferença entre elas

Dia	TIMax LT	TIMin LT	TIMax CV	TIMin CV	ΔTILT	ΔTICV
16	29.50	24.79	25.95	23.63	4.71	2.32
17	26.73	22.09	23.63	22.48	4.64	1.15
18	27.52	22.09	24.01	21.71	5.43	2.30
19	24.40	21.33	22.48	20.57	3.07	1.91
20	25.95	20.19	22.09	19.81	5.76	2.28
21	29.10	17.14	23.63	18.28	11.96	5.35
22	27.91	22.48	24.79	21.33	5.43	3.46
23	32.76	22.09	27.52	21.71	10.67	5.81
24	31.93	21.71	27.12	22.09	10.22	5.03
25	32.34	22.48	27.52	22.48	9.86	5.04
26	31.52	21.71	27.52	22.09	9.81	5.43
27	32.76	22.86	27.91	22.86	9.90	5.05
28	34.01	24.01	28.31	23.24	10.00	5.07
29	33.59	24.01	28.70	23.63	9.58	5.07
Médias	30.00	22.07	25.80	21.85	7.93	3.95

No período de calor, as diferenças entre as temperaturas do ar interno das células foram significativas, apesar da edificação apresentar aberturas formadas por

elementos vazados, havendo assim uma grande influência do ar externo. A maior e menor diferença entre as temperaturas internas das células-teste foram de 5.47°C e -1.14°C no dia 21. Percebe-se que durante o período considerado, a temperatura interna da célula com cobertura verde manteve-se inferior à da célula com laje tradicional por causa do sombreamento da superfície da laje, a absorção de radiação solar pelo vegetal e a inércia da terra.

As figuras 4.37 e 4.38 representam o dia médio dessas mesmas temperaturas.

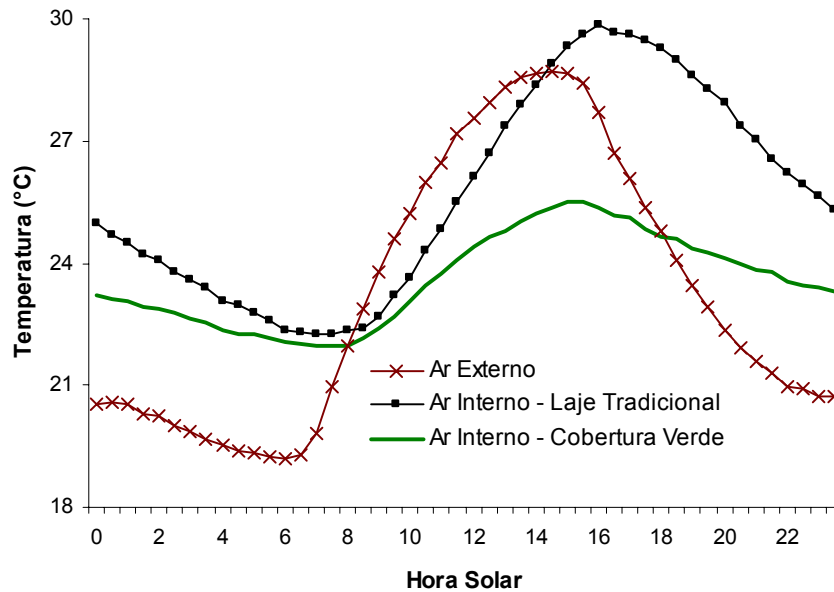


Figura 4.37: Dia Médio: temperaturas do ar interno registradas durante a medição em março de 2007

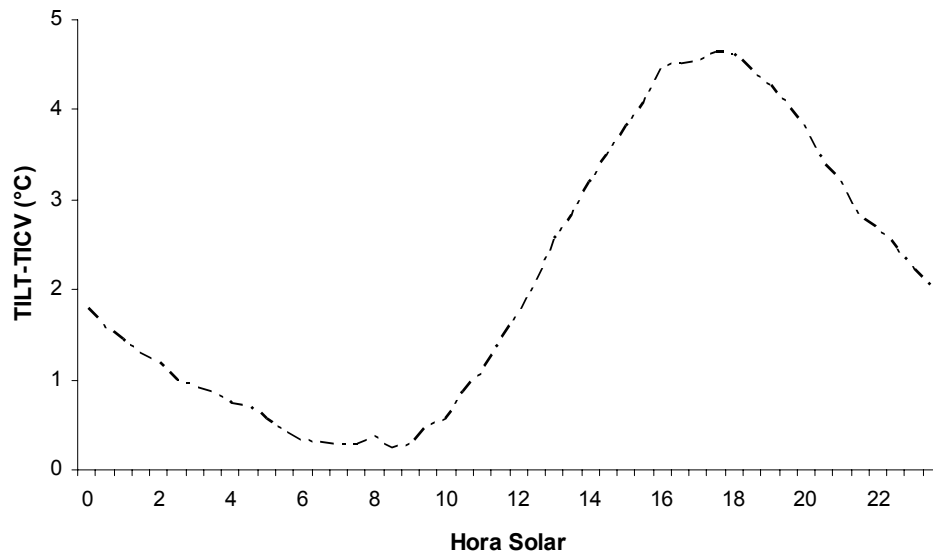


Figura 4.38: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em março de 2007

4.2.2.1.2. Temperaturas superficiais internas

Os dados de temperaturas superficiais internas registrados nas células-teste com laje tradicional e cobertura verde são mostrados na figura 4.39.

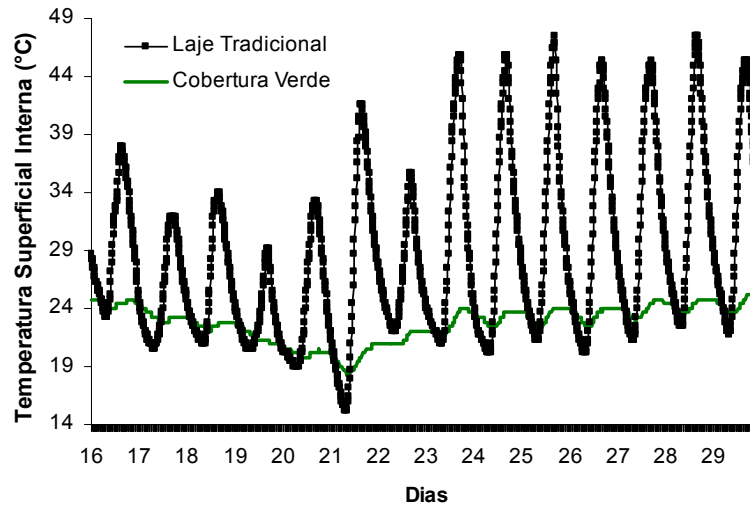


Figura 4.39: Temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em março de 2007

Tabela 4.15: Temperaturas superficiais internas máximas e mínimas registradas durante a medição em março de 2007, bem como a diferença entre elas

Dia	TSIMax LT	TSIMin LT	TSIMax CV	TSIMin CV	ΔTSI LT	ΔTSI CV
16	37.88	23.24	24.79	24.01	14.64	0.78
17	31.93	20.57	24.40	22.86	11.36	1.54
18	34.01	20.95	23.24	22.09	13.06	1.15
19	29.10	20.57	22.86	20.57	8.53	2.29
20	33.17	19.04	20.57	19.81	14.13	0.76
21	41.52	15.23	20.95	18.28	26.29	2.67
22	35.70	22.09	22.09	20.95	13.61	1.14
23	45.89	20.95	24.01	21.71	24.94	2.30
24	45.89	20.19	23.63	22.48	25.70	1.15
25	47.43	21.33	24.01	22.48	26.10	1.53
26	45.39	20.19	24.01	22.48	25.20	1.53
27	45.39	21.33	24.79	22.86	24.06	1.93
28	47.43	22.48	24.79	23.24	24.95	1.55
29	45.39	21.71	25.17	23.63	23.68	1.54
Médias	40.44	20.71	23.52	21.96	19.73	1.56

A laje tradicional apresentou as maiores variações diárias, sendo a temperatura máxima de 47.43°C nos dias 25 e 28, e a da cobertura verde de 25.17°C no dia 29. As temperaturas mínimas foram de 15.23°C no dia 21 para a laje tradicional e de 18.28°C no dia 21 para a cobertura verde. Percebe-se que houve a diminuição do aquecimento superficial da laje com cobertura verde por radiação, provocada pelo sistema que a forma (camada de solo acrescida de vegetação), o qual provoca o aumento da inércia térmica da laje.

As figuras 4.40 e 4.41 representam o dia médio.

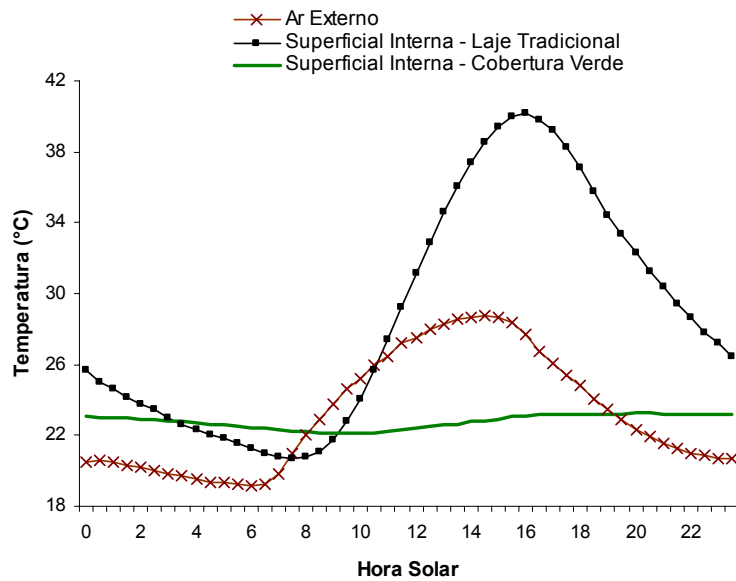


Figura 4.40: Dia Médio: temperaturas superficiais internas registradas durante a medição em março de 2007

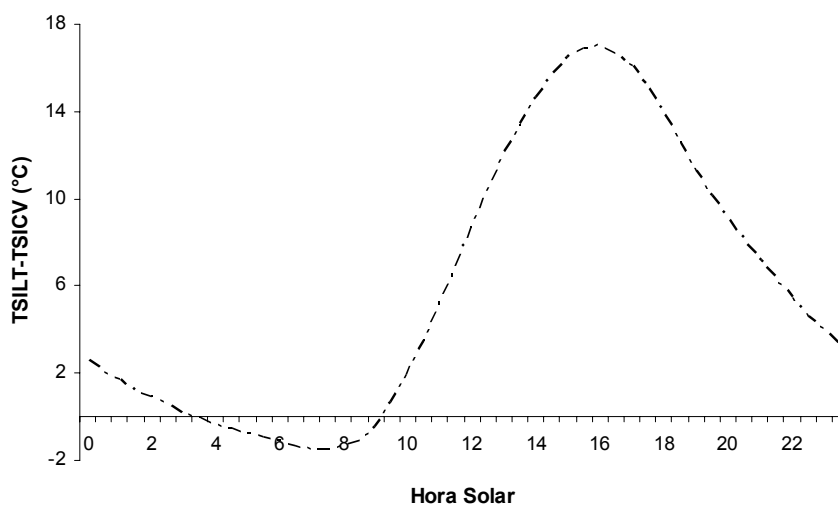


Figura 4.41: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição em março de 2007

4.2.2.1.3. Temperaturas superficiais externas

Os dados de temperaturas superficiais externas das células-teste com laje tradicional e cobertura verde foram estimados e são mostrados na figura 4.42.

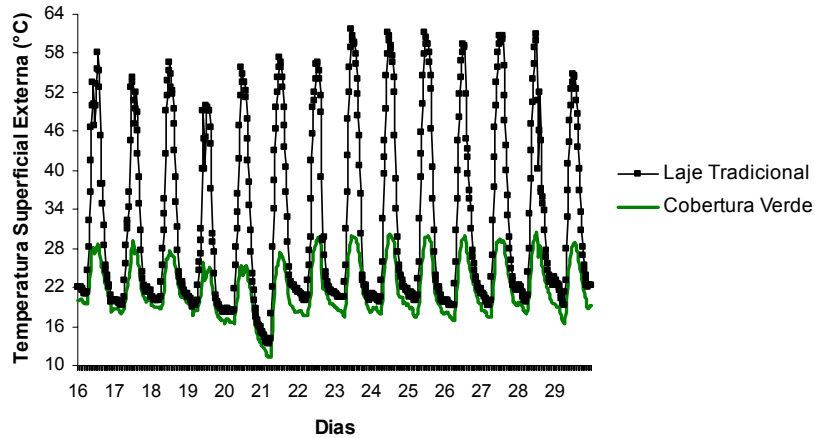


Figura 4.42: Temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em março de 2007

A tabela 4.16 resume os valores máximos e mínimos dessas temperaturas.

Tabela 4.16: Temperaturas superficiais externas máximas e mínimas estimadas durante a medição em março de 2007, bem como a diferença entre elas

Dia	TSEMax	TSEMin	TSEMax	TSEMin	$\Delta TSELT$	$\Delta TSECv$
	LT	LT	CV	CV		
16	58.10	19.70	28.70	18.20	38.40	10.50
17	54.30	19.30	29.20	18.00	35.00	11.20
18	56.70	20.10	27.60	18.60	36.60	9.00
19	49.90	18.20	25.90	16.90	31.70	9.00
20	55.90	15.90	25.40	13.70	40.00	11.70
21	57.40	13.30	27.30	11.20	44.10	16.10
22	56.50	20.10	29.70	17.60	36.40	12.10
23	61.70	20.10	29.90	17.50	41.60	12.40
24	61.30	19.70	30.10	18.00	41.60	12.10
25	61.30	19.70	29.90	17.50	41.60	12.40
26	59.40	19.30	30.00	16.80	40.10	13.20
27	60.60	19.30	29.40	17.40	41.30	12.00
28	61.00	19.70	30.50	18.00	41.30	12.50
29	54.70	19.30	29.00	16.40	35.40	12.60
Médias	57.77	18.84	28.76	16.84	38.94	11.91

A laje tradicional registrou a temperatura máxima de 61.70°C no dia 23 e a mínima de 13.30°C no dia 21, enquanto as folhas da cobertura verde atingiram a máxima de 30.50°C no dia 28 e a mínima de 11.20°C no dia 21. Isso ocorre por consequência do efeito de refrigeração evaporativa, pela redução do ganho de irradiância solar de ondas curtas durante o dia e diminuição da perda de radiação de ondas longas durante a noite.

As figuras 4.43 e 4.44 representam o dia médio dessas mesmas temperaturas.

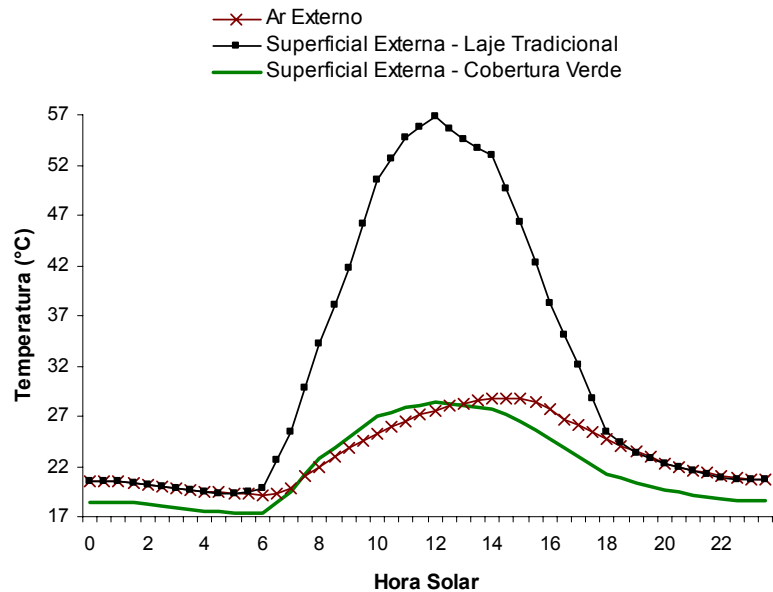


Figura 4.43: Dia Médio: temperaturas superficiais externas estimadas durante a medição em março de 2007

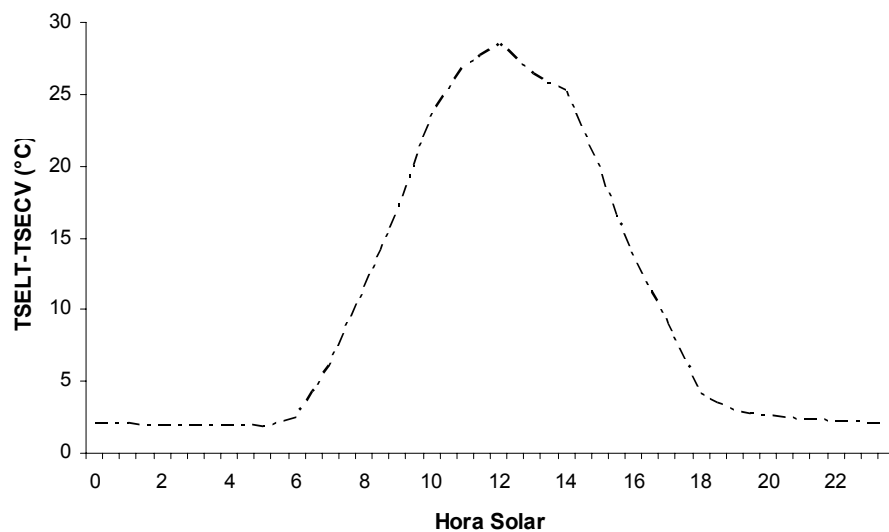


Figura 4.44: Dia Médio: diferenças entre as temperaturas superficiais externas da laje tradicional e cobertura verde estimadas durante a medição em março de 2007

4.3. Comparação com a grama Esmeralda

Para comparar o comportamento térmico entre as duas gramas foram utilizados os dados dos dias médios da pesquisa anterior (MORAIS, 2004), para a grama Esmeralda, e a média dos dias médios para grama Braquiária, pelo fato desta possuir duas medições para cada situação de frio e calor, enquanto Morais (2004) realizou uma medição para cada situação.

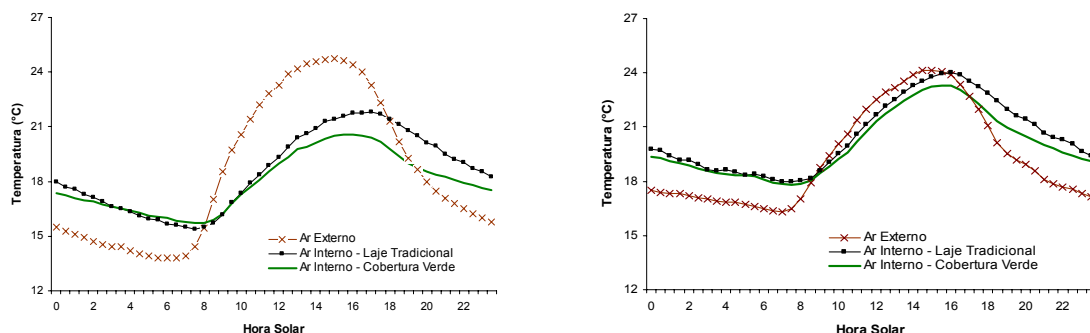
Os gráficos das temperaturas superficiais externas não foram considerados por falta de dados suficientes no caso da grama Esmeralda.

4.3.1. Medições realizadas no período de frio

As figuras 4.45 a 4.50 representam as comparações das medições realizadas neste período para as duas gramas.

Observa-se que a temperatura do ar interno do ambiente com grama Braquiária apresentou uma variação entre as máximas de 1.21°C e com a grama Esmeralda de 0.72°C, em relação ao ambiente com a laje tradicional. Entretanto, a temperatura do ar externo teve uma variação de 10.94°C na época da medida com a grama Braquiária e de 7.83°C com a grama Esmeralda, fato este que pode ter provocado essa diferença.

Nota-se que a temperatura superficial interna variou 2.67°C entre as máximas com a grama Braquiária e 2.44°C com a grama Esmeralda, em relação à laje tradicional. Neste caso, percebe-se que houve uma semelhança entre o comportamento térmico das duas gramas.

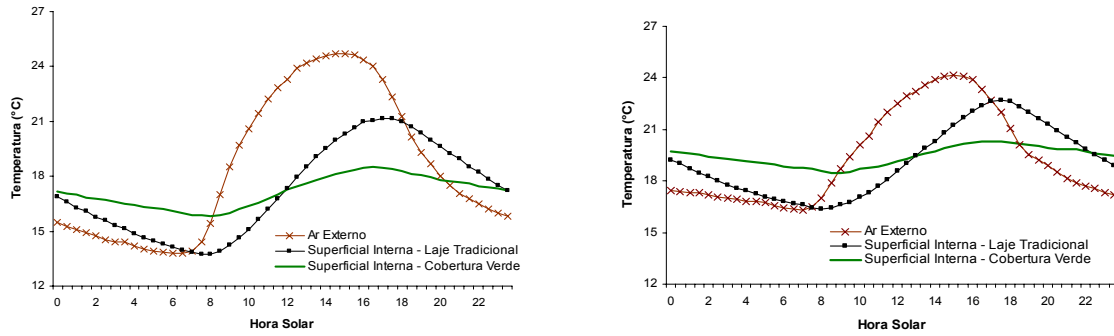


Temperatura do Ar Interno: média entre os períodos de 14 a 23/06/2006 e de 25/07 a 07/08/2006

Temperatura do Ar Interno no período de 05 a 12/06/2003

Fonte: MORAIS, 2004

Figura 4.45: Dia Médio: comparação entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita)



Temperatura Superficial Interna: média entre os períodos de 14 a 23/06/2006 e de 25/07 a 07/08/2006

Temperatura Superficial Interna no período de 05 a 12/06/2003

Fonte: MORAIS, 2004

Figura 4.46: Dia Médio: comparação entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita)

Observa-se que a grama Braquiária oferece melhor comportamento térmico que a grama Esmeralda, pois os valores das diferenças entre as temperaturas do ar externo e do ar interno da cobertura verde com esta grama são maiores quando comparados com a grama Esmeralda. Entretanto, no período de frio, a temperatura interna deve ser maior que a externa, e neste caso é a grama Esmeralda que atende a esta solicitação.

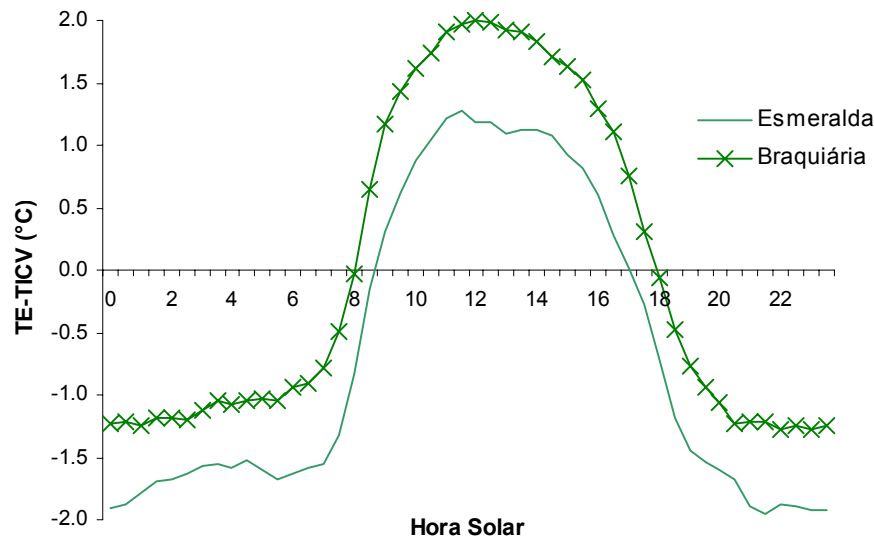


Figura 4.47: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e do ar interno da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Comparando-se as diferenças entre as temperaturas do ar externo e das superficiais internas da cobertura verde das duas gramas, percebe-se que o comportamento térmico da grama Braquiária é melhor das 0 às 11 horas e depois das 20 horas, e nos outros horários da grama Esmeralda, mas observando a condição para o período de frio citada anteriormente.

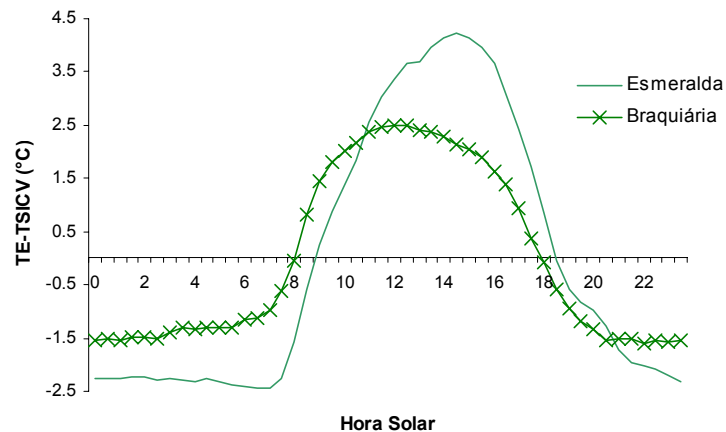


Figura 4.48: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e das superficiais internas da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Nota-se que a grama Braquiária comporta-se termicamente melhor que a grama Esmeralda, das 0 às 7:45 horas e depois das 20 horas quando tem seus valores das diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e da cobertura verde comparados com os da grama Esmeralda. Entretanto, para o clima frio a grama Esmeralda oferece melhor comportamento nesses horários.

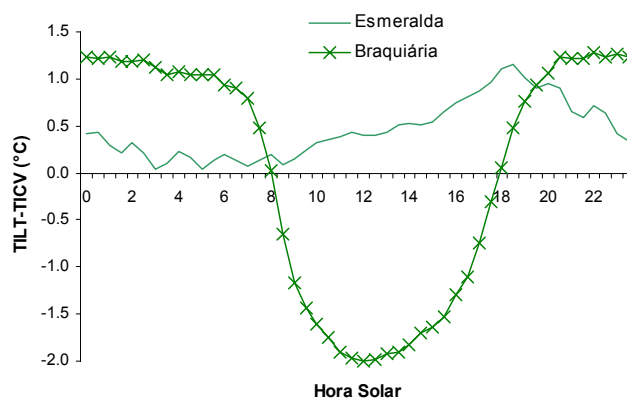


Figura 4.49: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar interno das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Comparando-se as diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e da cobertura verde para as duas gramas, observa-se que a grama Braquiária oferece melhor comportamento térmico que a grama Esmeralda das 0 às 12 horas e após as 21:45 horas, mas para o período de frio é a grama Esmeralda que protege mais nesses mesmos horários.

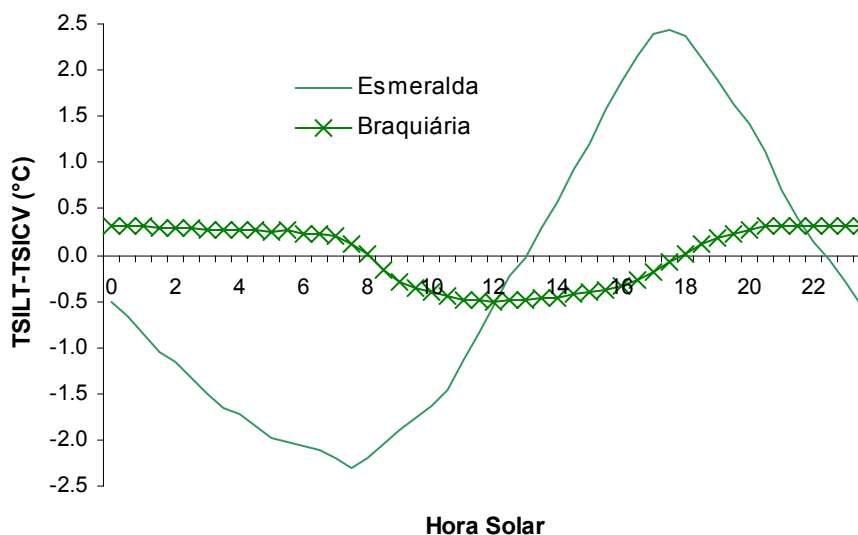


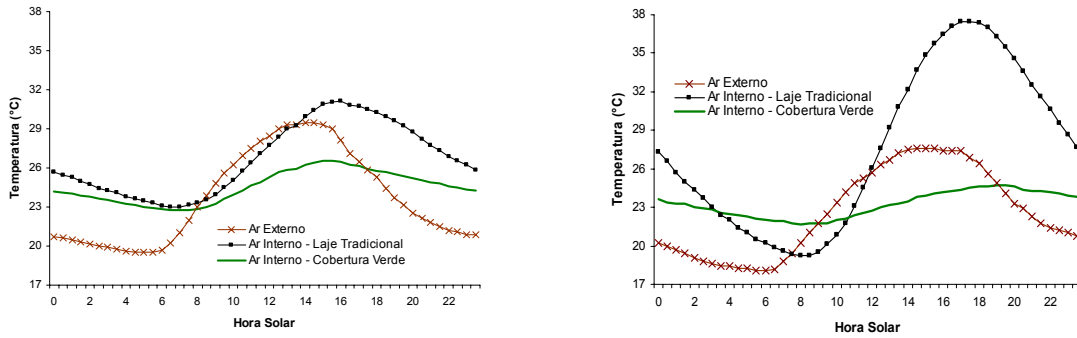
Figura 4.50: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas superficiais internas das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

4.3.2. Medições realizadas no período de calor

As figuras 4.51 a 4.56 representam as comparações das medições realizadas neste período para as duas gramas.

A temperatura do ar interno do ambiente com a grama Braquiária apresentou uma variação entre as máximas de 4.59°C e com a grama Esmeralda de 3.84°C, em relação ao ambiente com a laje tradicional. Essas variações da temperatura do ar interno do ambiente com laje tradicional podem ser explicadas por uma possível redução na velocidade do vento e no índice pluviométrico das épocas.

Observa-se que a temperatura superficial interna do ambiente com grama Braquiária apresentou uma variação entre as máximas de 16.14°C e com a grama Esmeralda de 19.30°C, em relação ao ambiente com a laje tradicional. Neste caso, percebe-se também, que houve uma semelhança entre o comportamento térmico das duas gramas.

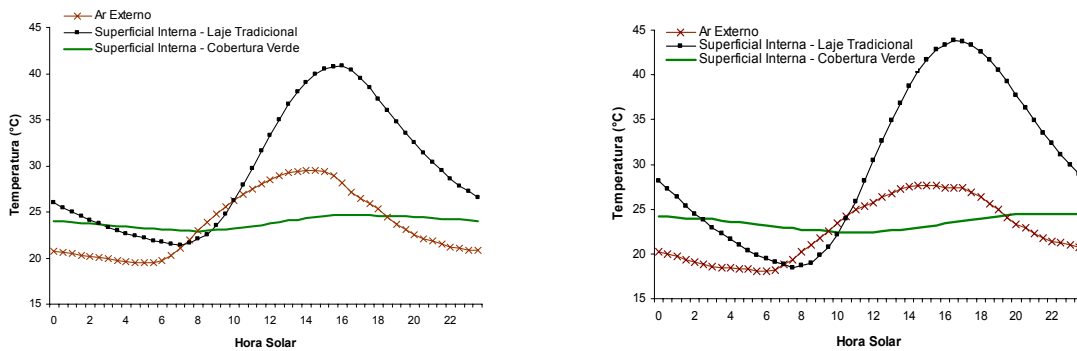


Temperatura do Ar Interno: média entre os períodos de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007

Temperatura do Ar Interno no período de 15 a 22/10/2003

Fonte: MORAIS, 2004

Figura 4.51: Dia Médio: comparação entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita)



Temperatura Superficial Interna: média entre os períodos de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007

Temperatura Superficial Interna no período de 15 a 22/10/2003

Fonte: MORAIS, 2004

Figura 4.52: Dia Médio: comparação entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita)

Observa-se pelos valores das diferenças entre as temperaturas do ar externo e do ar interno da cobertura verde com as gramas Esmeralda e Braquiária que ambas têm bom comportamento térmico em horários diferentes. Entretanto, para o horário de maior insolação, das 8:30 às 17 horas é a grama Braquiária que protege melhor.

Comparando-se as diferenças entre as temperaturas externas e as superficiais internas da cobertura verde para as duas gramas, é notado que a grama Braquiária possui um melhor comportamento térmico que a grama Esmeralda na maior parte do dia.

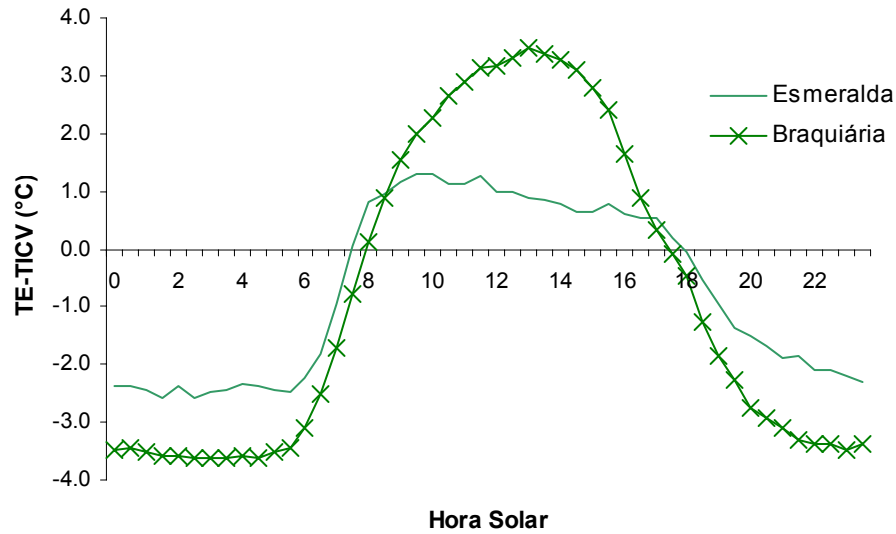


Figura 4.53: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e do ar interno da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

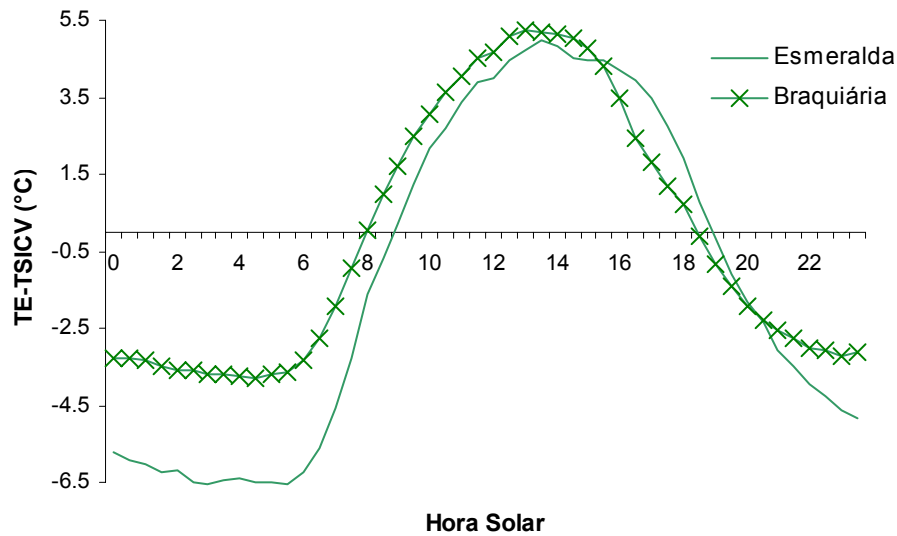


Figura 4.54: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar externo e das superfícies internas da edificação com cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Nota-se que a grama Braquiária comporta-se termicamente melhor que a grama Esmeralda quando os valores das diferenças entre as temperaturas do ar interno da laje tradicional e da cobertura verde das duas gramíneas são comparados entre si; salvo em alguns horários que são iguais.

Comparando-se as diferenças entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e da cobertura verde para as duas gramas, observa-se que a grama Braquiária possui um melhor comportamento térmico que a grama Esmeralda das 0 às 14 horas.

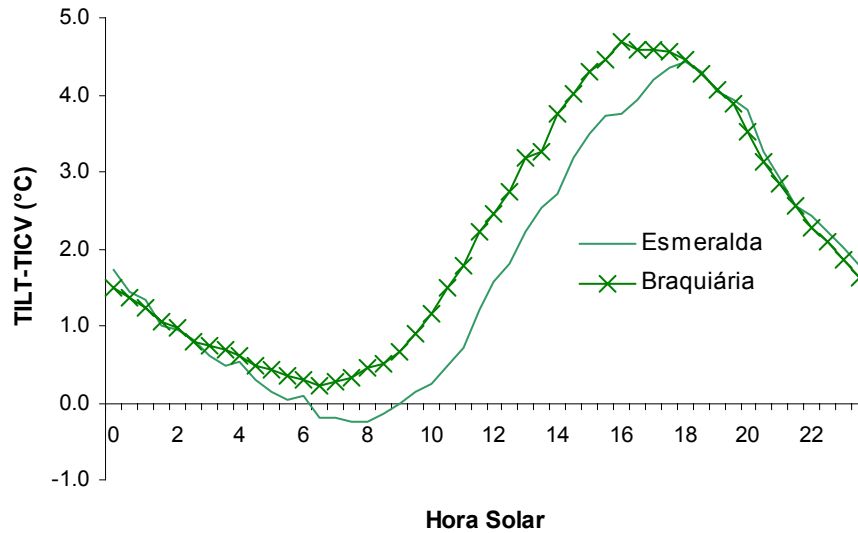


Figura 4.55: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas do ar interno das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

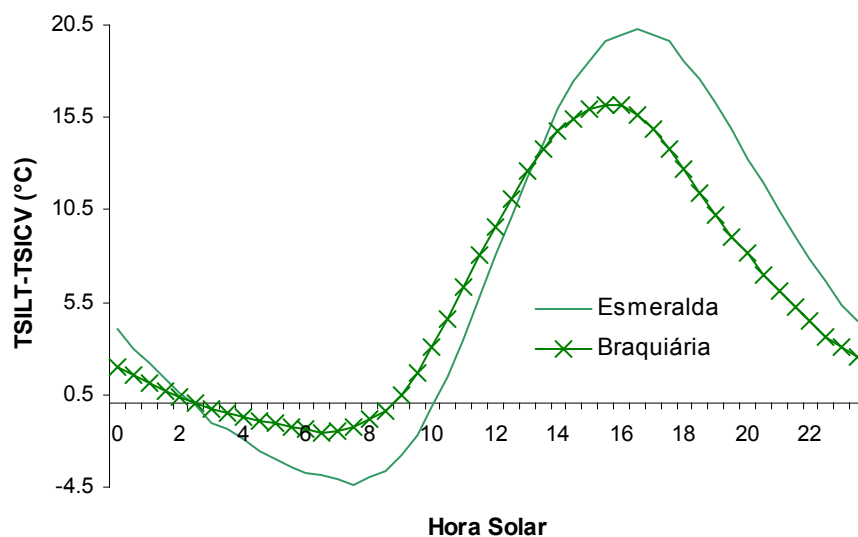


Figura 4.56: Dia Médio: comparação entre as diferenças das temperaturas superficiais internas das edificações com laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

4.3.3. Amortecimento térmico

As tabelas 4.17 e 4.18 fornecem os valores do amortecimento térmico, calculado conforme o item 2.7.1 e transformado em %, para os diferentes períodos de monitoramento das gramas Braquiária e Esmeralda (MORAIS, 2004).

Tabela 4.17: Amortecimento térmico (em %) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de frio	Média de 14 a 23/06 e de 25/07 a 07/08/2006 grama Braquiária		De 05 a 12/06/2003 grama Esmeralda	
	LT	CV	LT	CV
Ar: $\Delta TI / \Delta TE$	59	45	77	70
Superficiais: $\Delta TSI / \Delta TSE$	26	22	21	11
Superficiais (TE): $\Delta TSI / \Delta TE$	68	24	81	23

Para as temperaturas do ar interno percebe-se claramente que a grama Braquiária ofereceu maior amortecimento que a grama Esmeralda com diferença de 25% entre as duas coberturas verdes. Contudo, para as superficiais ocorreu o inverso para a cobertura verde com a grama Esmeralda que chegou a amortecer 11% a mais que a grama Braquiária, em relação às superficiais externas, e 1% considerando as temperaturas do ar externo.

Tabela 4.18: Amortecimento térmico (em %) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de calor	Média de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007 grama Braquiária		De 15 a 22/10/2003 grama Esmeralda	
	LT	CV	LT	CV
Ar: $\Delta TI / \Delta TE$	81	38	108	71
Superficiais: $\Delta TSI / \Delta TSE$	50	15	62	10
Superficiais (TE): $\Delta TSI / \Delta TE$	195	18	231	19

Neste caso ocorreu o inverso para as temperaturas do ar interno, pois a grama Braquiária ofereceu menor amortecimento que a grama Esmeralda com diferença de 33% entre as duas coberturas verdes, e para as superficiais a cobertura verde com a

grama Esmeralda amorteceu 5% a mais que a grama Braquiária, em relação às superficiais externas, e 4% a menos considerando as temperaturas do ar externo.

4.3.4. Diferença de temperatura entre médias

As tabelas 4.19 e 4.20 fornecem os valores da diferença de temperatura entre médias (em °C), calculada conforme o item 2.7.3, para os diferentes períodos de monitoramento das gramas Braquiária e Esmeralda (MORAIS, 2004).

Tabela 4.19: Diferença de temperatura entre médias (em °C) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de frio	Média de 14 a 23/06 e de 25/07 a 07/08/2006 grama Braquiária		De 05 a 12/06/2003 grama Esmeralda	
	LT	CV	LT	CV
Ar: $TE_{med} - TI_{med}$	-0.02	0.58	-1.13	-0.67
Superficiais: $TSE_{med} - TSI_{med}$	5.40	-1.75	11.96	1.86
Superficiais (TE): $TE_{med} - TSI_{med}$	1.28	1.39	0.25	-0.05

Observa-se que as temperaturas do ar interno no ambiente com a grama Braquiária apresentaram valores menores que as do ar externo, ao contrário do ambiente com a grama Esmeralda, e para as temperaturas superficiais internas ocorre o inverso, pois são maiores para a grama Braquiária, em relação às superficiais externas, e menores em relação às do ar externo. Todavia, considerando que em períodos de frio o ar interno deve ser maior que o externo, a grama Esmeralda ofereceu melhor comportamento, e as duas gramas comportaram-se melhor nas superficiais internas.

Tabela 4.20: Diferença de temperatura entre médias (em °C) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de calor	Média de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007 grama Braquiária		De 15 a 22/10/2003 grama Esmeralda	
	LT	CV	LT	CV
Ar: $TE_{med} - TI_{med}$	-2.98	-0.82	-2.54	-0.74
Superficiais: $TSE_{med} - TSI_{med}$	2.64	-2.04	6.52	-2.27
Superficiais (TE): $TE_{med} - TSI_{med}$	-5.80	-0.14	-7.77	-1.26

Nestas medições, as temperaturas do ar interno e superficiais internas nos dois ambientes com diferentes gramas foram maiores que as do ar externo e superficiais externas. Entretanto, considerando que em períodos de calor o ar interno deve ser menor que o externo, a grama Esmeralda ofereceu melhor comportamento, e a Braquiária comportou-se melhor nas superficiais internas.

4.3.5. Atraso térmico

As tabelas 4.21 e 4.22 fornecem os valores do atraso térmico (em h), calculado conforme o item 2.7.2, para os diferentes períodos de monitoramento das gramas Braquiária e Esmeralda (MORAIS, 2004).

Tabela 4.21: Atraso térmico (em h) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de frio	Média de 14 a 23/06 e de 25/07 a 07/08/2006 grama Braquiária		De 05 a 12/06/2003 grama Esmeralda	
	LT	CV	LT	CV
	2.25	2.00	2.50	2.50

Tabela 4.22: Atraso térmico (em h) da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de calor	Média de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007 grama Braquiária		De 15 a 22/10/2003 grama Esmeralda	
	LT	CV	LT	CV
	1.25	3.50	2.00	6.50

Percebe-se que a grama Esmeralda está com meia hora a mais de atraso em relação à Braquiária no período de frio e três horas no período de calor. Isso não significa que a grama Esmeralda tem um melhor desempenho térmico em relação à Braquiária, pois não foram considerados diversos fatores como a umidade da terra, por chuva ou irrigação, velocidade do vento, e também por tratar-se de média entre valores no caso da grama Braquiária.

4.3.6. Razão entre amplitudes e diferença entre médias

As tabelas 4.23 e 4.24 fornecem os valores da razão entre a amplitude das temperaturas da cobertura verde e da laje tradicional e, também da diferença entre a

média das temperaturas da laje tradicional e da cobertura verde para os diferentes períodos de monitoramento das gramas Braquiária e Esmeralda (MORAIS, 2004).

Tabela 4.23: Razão entre a amplitude e Diferença entre a média das temperaturas da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de frio com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de frio	Média de 14 a 23/06 e de 25/07 a 07/08/2006 grama Braquiária			De 05 a 12/06/2003 grama Esmeralda		
	TI	TSI	TSE	TI	TSI	TSE
$\Delta T_{CV} / \Delta T_{LT}$	0.77	0.36	0.44	0.90	0.28	0.54
$T_{med_LT} - T_{med_CV}$	0.59	0.11	7.25	0.46	-0.30	9.80

Tabela 4.24: Razão entre a amplitude e Diferença entre a média das temperaturas da laje tradicional e cobertura verde durante a medição no período de calor com a grama Braquiária e a grama Esmeralda

Medições no período de calor	Média de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007 grama Braquiária			De 15 a 22/10/2003 grama Esmeralda		
	TI	TSI	TSE	TI	TSI	TSE
$\Delta T_{CV} / \Delta T_{LT}$	0.47	0.10	0.31	0.66	0.08	0.50
$T_{med_LT} - T_{med_CV}$	2.16	5.67	10.34	1.80	6.51	15.30

Considerando que em períodos de frio é desejável que a temperatura do ar interno seja maior que a do externo, a grama Esmeralda ofereceu melhor comportamento, pois tanto a variação como a média dos valores das temperaturas da cobertura verde foram maiores para o ar interno e a superficial interna. Ao contrário, nos períodos de calor deseja-se que a temperatura interna seja menor que a externa e, pelos valores da tabela 4.24 é notado o melhor comportamento da grama Esmeralda em relação à razão entre as amplitudes, e da Braquiária em relação à diferença entre a média das temperaturas.

5. CONCLUSÕES

Apresentam-se a seguir as conclusões das medições dos períodos de frio e calor, obtidas a partir das análises dos resultados relatados no capítulo anterior, bem como da comparação entre as gramas Braquiária e Esmeralda.

5.1. Medições realizadas no período de frio

Não foram constatadas grandes diferenças entre as temperaturas do ar interno das duas células, devido às paredes formadas por elementos vazados que impedem uma análise mais consistente sobre a temperatura interna. Entretanto, nos dias 16, 17, 18 e 23 de junho, 31 de julho, 01, 02 e 03 de agosto observou-se até 2.29°C de variação entre as máximas. Isso pode ser explicado pela passagem de uma frente fria nesse período, a qual provocou uma queda na temperatura do ar externo.

Considerando as médias das amplitudes das temperaturas superficiais internas (ΔT_{SI}), notou-se que a cobertura verde induziu a uma redução na ΔT_{SI} de aproximadamente 63% no mês de junho e 61% no mês de julho, mostrando que houve uma grande redução na transmissão de calor, pelo fato de sombrear a laje e diminuir a absorção da radiação solar.

Quanto às médias das amplitudes das temperaturas superficiais externas (ΔT_{SE} -estimadas), verificou-se que houve uma redução de quase 56% na ΔT_{SE} da cobertura verde nos meses de junho e julho devido ao processo de evapotranspiração da vegetação.

5.2. Medições realizadas no período de calor

Nesta medição, as diferenças entre as temperaturas do ar interno das células com laje tradicional e cobertura verde chegam a 6.96°C em novembro e 5.47°C em março, mostrando que a vegetação sobre a laje contribuiu notavelmente para a redução destas temperaturas.

As temperaturas superficiais internas da laje tradicional apresentaram maiores oscilações diárias, com temperatura máxima de 47.43°C em novembro e março, enquanto que a da cobertura verde foi de 29.10°C em novembro e 25.17°C em março. As reduções nas ΔT_{SI} de aproximadamente 85% em novembro e 92% em março evidenciaram o melhor desempenho da cobertura verde.

Percebe-se que a temperatura superficial externa da cobertura verde sofreu variações térmicas muito menores quando comparada com a temperatura superficial externa da laje tradicional, sendo a maior diferença entre elas de 33.80 °C no mês de novembro e 31.80°C em março. Houve uma diminuição de quase 67% na ΔT_{SE}

da cobertura verde em novembro e 69% em março. Isso ocorre por causa da capacidade da vegetação de reduzir o ganho de calor por irradiância solar de ondas curtas, fato justificado pelo sombreamento da laje, o qual reduz a absorção de calor, e pela presença do efeito de refrigeração evaporativa.

5.3. Comparação entre as gramas Braquiária e Esmeralda

Comparando-se os resultados dos monitoramentos realizados com as duas gramas nos períodos de frio e de calor, percebe-se que, embora a grama Braquiária seja mais densa e, portanto, ofereça maior proteção para a laje de concreto, em alguns casos foi detectado um melhor comportamento da grama Esmeralda, como no amortecimento e atraso térmico. Isso não significa que o comportamento térmico das coberturas com grama Esmeralda e Braquiária são iguais, pois é necessário considerar o período de irrigação das duas gramas (a umidade da terra tem uma forte influência no processo de troca de calor), a velocidade do vento, e também por tratar-se de média entre valores no caso da grama Braquiária.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRI, E.; JONES, P. *Micro-scale modelling of the thermal effects of green roofs*. In: 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA. Santiago/2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Projeto de normas de desempenho térmico de edificações 02:135. 07-001 - Parte 1: definições, símbolos e unidades*. São Paulo/2005.

BASS, B.; BASKARAN, B. *Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban áreas*. National Research Council Canada – NRCC 46737/2003. Disponível em <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irepubs>. Acesso em: 30/01/2006.

BOSCOE, A. *An assessment of the potential of green roofs to act as a mitigation tool for increased urban densities*. Dissertação de Mestrado. University of Manchester/2003.

CONNELLY, M.; LIU, K.K.Y. *Green roof research in British Columbia – an overview*. National Research Council Canada – NRCC 48203/2005. Disponível em <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irepubs>. Acesso em: 30/01/2006.

CORREA, C.B.; GONZÁLEZ, F.J.N. *O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas*. In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo - NUTAU, Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, São Paulo/2002.

DEL BARRIO, E.P. *Analysis of the green roofs cooling potential in buildings*. Energy and Buildings, v.27, nº 02, p.179-193. Abril/1998.

DUNNETT, N. ; KINGSBURY, N. *Planting green roofs and living walls*. Timber Press, Oregon, USA/2003.

EMILSSON, T.; ROLF, K. *Comparison of establishment methods for extensive green roofs in Southern Sweden*. Urban Forestry and Urban Greening, v. 03, p. 103-111. 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Clima e hidrologia* . Disponível em www.cppse.embrapa.br. Acesso em 09/11/2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Gramíneas*. Disponível em www.cnpqg.embrapa.br. Acesso em 13/02/2006.

FERRANTE, A.; MIHALAKAKOU, G. *The influence of water, green and selected passive techniques on the rehabilitation of historical industrial buildings in urban areas*. Solar Energy, v.70, n° 3, p.245-253. 2001.

GEDGE, D ; FRITH, M. *Green roofs: Benefits and cost implications*. Living Roofs and Ecology Consultancy. Artigo. Londres/2004. Disponível em: www.livingroofs.com. Acesso em: 30/01/2006.

GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. 2ª edição. Londres. Ed. Applied Science Publishers LTD / 1976.

GRABSKI, M. *Are native desert plants appropriate for green roofs in Portland, Oregon?* Human Factors & Research Methods, ARCH 407/507. Portland/2005.

HAPPE, D. *Green roofs are sprouting up*. Journal of Soil and Water Conservation, v.60, n°5, p.110-114. Setembro-Outubro/2005.

HENDERSON, B. *Human-Driven Extensive Greenroof Design*. Virginia Polytechnic Institute & State University. Blacksburg / 2003.

HOBO®. *H8 family of data loggers*. Disponível em: http://www.onsetcomp.com/products/HOBO_H08/H08_family.html. Acesso em: 28/04/2006.

HUI, S.C.M.; LAW,A.Y.M. *Green design and construction of site offices* Research Report. Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong. Pokfulam Road/2002.

IGRA, International Green Roof Association. Worldwide-images. Disponível em www.igra-world.com/greenroof.worldwide. Acesso em: 17/10/2006.

KAWASHIMA, S. *Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter*. Energy and Buildings, v.15, n°3-4, p. 465-469. 1991.

KÖHLER, M. *et al. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics-far beyond the aesthetics*. In: 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA. Florianópolis/2001.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; LAAR, M. *Green roofs as a contribution to reduce urban heat islands*. In: World Climate & Energy Event. Rio de Janeiro/2003.

KOPPÁNY, A. *Green roofs in the city environment*. Department of Architecture and Building Construction. Széchenyi István University of Applied Sciences. HEJ. Manuscript nº CEA-010227-A. s/d.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. 2ª edição. São Carlos. Rima editora/2000.

LERUM, V. *Green roof turning white*. Research Report. Arizona State University. Tempe/2005.

LICHTENBERG, R. A.; BARROSO-KRAUSE, C. *Estratégias bioclimáticas aplicadas em edificação residencial – o projeto Ecohouse Urca*. In: 8º Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. Centro Cultural e de Exposições de Maceió/2005.

LIU, K.K.Y. *Energy efficiency and environmental benefits of rooftop gardens*. National Research Council Canada – NRCC 45345/2002. Disponível em <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irepubs>. Acesso em: 30/01/2006.

LIU, K.K.Y. *Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation*. National Research Council Canada – NRCC 46294/2003. Disponível em <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irepubs>. Acesso em: 30/01/2006.

LIU, K.K.Y.; MINOR, J. *Performance evaluation of an extensive green roof*. National Research Council Canada – NRCC 48204/2005. Disponível em <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irepubs>. Acesso em: 30/01/2006.

LUNARDI, D.M.C. *et al. Efeito da umidade da superfície do solo no desempenho do método de Penman original e modificado*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.06, nº 01, p.88-92. Universidade Federal da Paraíba/2002.

MACHADO, M.V.; BRITTO, C.; NEILA, F.J. *Thermal behaviour simulation of models with ecological roofs*. In: 18º International Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA, University of Queensland, Austrália/1999.

MORAIS, C.S.; RORIZ, M. *Comparação entre os desempenhos térmicos de cobertura ajardinada e laje comum em guaritas*. In: 7º Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC. PUC Curitiba/2003.

MORAIS, C.S. *Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos*. Dissertação de Mestrado. UFSCar. São Carlos/2004.

NGAN, G. *Green roof policies: tools for encouraging sustainable design*. Landscape Architecture Canada Foundation – LACF/2004. Disponível em: <http://www.csla.ca/eng/engdocs/lacf.html>. Acesso em: 30/01/2006.

NIACHOU, A. *et al. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance*. Energy and Buildings, v.33, nº.07, p.719-729. Setembro/ 2001.

ONMURA, S. *et al. Study on evaporative cooling effect of lawn gardens*. Energy and Buildings, v.33, nº07, p. 653-666. Setembro/2001.

OSMUNDSON, T. *Roof gardens: history, design and construction*. New York. Ed. W.W. Norton & Company/1999.

PEREZ JÚNIOR, O. R. *A cidade de São Carlos*. Disponível em : http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt6.html. Acesso em : 10/04/2006.

PORSCHÉ, U; KÖHLER, M. *Life cycle costs of green roofs – A comparison of Germany, USA and Brazil*. . In: World Climate & Energy Event. Rio de Janeiro/2003.

POUEY, M. T. F.; SATTTLER, M.A.; SCHNEIDER, P.S. *Coberturas verdes: análise do desempenho térmico*. In: 7º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/1998.

POUEY, M. T. F. *Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas-Vegetação e Terraço*. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/1998.

RIVERO, R. *Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural*. 1ª edição. Porto Alegre. Ed. Luzzato/1985.

RORIZ, M. *Jardim 1.0 – Temperaturas Superficiais em Vegetação*. Versão 1.1. JARDIM.EXE. São Carlos/2003. Aplicativo. 264KB.

SAIZ, S. *et al. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs*. Environmental Science & Technology, v.40, nº 13, p.4312-4316. 2006.

SANTAMOURIS, D. *et al. Energy and climate urban in the build environment*. 1ª edição. Inglaterra. Ed. JxJ/2001.

SCHMIDT, M. *Energy saving strategies through the greening of buildings the example of the Institute of Physics of the Humboldt – University in Berlin – Adlershof*. In: World Climate & Energy Event. Rio de Janeiro/2003.

SNYDER, R.L.; PAW U, K.T. *Penman-Monteith Equation Derivation*. Atmospheric Science - Department of Land, Air and Water Resources. University of California/2002.

SOARES, J.V. *Introdução a Hidrologia de Florestas*. Apostila do curso do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Setembro/2004.

SUTIC, N. *How green roofs can improve the urban environment in uptown Waterloo* Research Report. Canadá/2003.

THEODOSIOU, T.G. *Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique*. Energy and Buildings, v. 35, nº09, p. 909-917. Outubro/2003.

TREBILCOCK, M.E. *Appropriate technologies for the design of green roofs*. In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo – NUTAU/1998.

VECCHIA, F. *Cobertura verde leve (CVL): ensaio experimental*. In: 8º Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC. Centro Cultural e de Exposições de Maceió/2005.

VELAZQUEZ, L. S. *Why have a test of green roof?* Disponível em: www.greenroofs.com. Acesso em: 16/11/2005.

VELAZQUEZ, L.S. *European Airport Greenroofs – A potential model for North América*. Disponível em: www.greenroofs.com. Acesso em : 30/01/2006.

VILLARREAL, E.L.; BENGTTSSON, A.S.D.L. *Inner city stormwater control using a combination of best management practices*. Ecological Engineering, nº 22, p. 279-298. Junho/2004.

VILLARREAL, E.L.; BENGTTSSON, A.S.D.L. *Response of a Sedum green roof to individual rain events*. Ecological Engineering, nº 25, p. 1-7. 2005.

VUJOVIC, V., OGUREK, D.J. *Boosting budgets by building green*. School Business Affairs, v.71, nº 01, p.05-09. Janeiro/2005.

VAN WOERT, N.D. *et al.* *Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth.* Journal of Environmental Quality, nº 34, p. 1036 - 1044. Maio/2005.

WONG, N. H. *A study of rooftop gardens in Singapore.* Department of Building, School of Design and Environment. National University of Singapore. Maio/2002.

YUEN, B.; HIEN, W. V. *Resident perceptions and expectations of rooftop gardens in Singapore.* Landscape and Urban Planning, nº 73, p. 263-276. 2005.

WWW.GUIANET.COM.BR/MAPAS

WWW.UFSCAR.BR/MAPA

WWW.FAO.ORG

ANEXO A

Tabela A.1: Exemplo de arquivo de dados do programa Jardim 1.1

Fonte: RORIZ, 2003

Latitude	Altitude	Mês	Dia	Hven	Hveg	Albedo
-22.00	800	3	16	2.00	1.00	Var.

Hora (solar)	RadET (W/m ²)	RadGlb (W/m ²)	RadLon (W/m ²)	RadLiq (W/m ²)	EnEVP (W/m ²)	TxEVP (mm/h)	UmiRel (%)	Vento (m/s)	TBS (°C)	TSA (°C)	TsV (°C)
0	0	0	51	-51	15	0.023	86.0	0.0	22.1	22.0	20.1
1	0	0	51	-51	15	0.023	86.0	0.0	22.1	22.0	20.1
2	0	0	51	-51	13	0.019	87.0	0.0	22.1	22.0	20.2
3	0	0	52	-52	12	0.018	87.0	0.1	21.7	21.6	19.9
4	0	0	53	-53	11	0.016	87.0	0.0	21.3	21.2	19.5
5	0	0	51	-51	-3	-0.005	92.0	0.0	21.0	20.9	19.6
6	24	20	51	-45	-6	-0.009	94.0	0.0	20.6	21.2	19.4
7	217	184	49	86	73	0.108	92.0	0.0	21.7	28.1	22.1
8	464	380	50	248	201	0.295	83.0	0.4	23.2	36.6	24.5
9	687	584	50	420	354	0.523	73.0	0.2	26.0	46.5	27.8
10	857	750	53	559	496	0.733	66.0	1.1	27.1	53.5	28.2
11	971	550	52	401	418	0.617	66.0	1.2	27.5	46.8	27.2
12	1014	720	52	542	526	0.777	64.0	1.5	27.9	53.2	28.1
13	971	825	56	623	664	0.982	57.0	1.9	29.1	58.1	28.7
14	857	728	53	542	553	0.817	66.0	2.9	27.1	52.7	27.1
15	687	350	51	231	259	0.382	73.0	1.0	25.6	37.8	25.0
16	464	350	51	223	232	0.341	73.0	0.1	25.6	37.8	25.3
17	217	184	51	84	138	0.204	75.0	0.1	25.2	31.6	23.6
18	24	20	49	-43	47	0.069	79.0	0.0	24.8	25.4	22.2
19	0	0	50	-50	41	0.060	81.0	0.4	24.0	23.9	21.6
20	0	0	54	-54	35	0.051	80.0	0.2	22.5	22.4	19.9
21	0	0	53	-53	24	0.036	84.0	0.4	22.1	22.0	20.0
22	0	0	56	-56	17	0.025	88.0	0.8	19.8	19.7	18.2
23	0	0	54	-54	4	0.006	90.0	0.5	20.2	20.1	18.7

Hven: Altura média do vento

Hveg: Altura média da vegetação

RadET: Radiação Extraterrestre

RadGlb: Radiação Global

RadLon: Radiação em ondas longas

RadLiq: Radiação Líquida

EnEVP: Energia de Evaporação

TxEVP: Taxa de Evaporação

UmiRel: Umidade Relativa do ar

Vento: Velocidade do vento

TBS: Temperatura do ar

TAS: Temperatura sol-ar

TsV: Temperatura superficial da Vegetação

ANEXO B

Tabela B.1: Exemplo de arquivo de dados do programa Psicron 1.0

Fonte: RORIZ, 2003

TBS (°C)	TBU (°C)	REL (%)	ABS (g/m³)	TAX (g/kg)	PVA (kPa)
22.09	20.32	85.50	16.74	14.33	2.274
22.09	20.32	85.50	16.74	14.33	2.274
22.09	20.49	86.90	17.02	14.57	2.311
21.71	20.12	86.90	16.65	14.23	2.258
21.33	19.76	86.90	16.29	13.89	2.206
20.95	19.98	91.80	16.83	14.35	2.277
20.57	19.85	93.80	16.82	14.32	2.272
21.71	20.73	91.80	17.59	15.05	2.385
23.24	21.11	83.10	17.38	14.94	2.370
25.95	22.30	73.40	17.88	15.53	2.461
27.12	22.22	65.90	17.12	14.92	2.367
27.52	22.51	65.50	17.40	15.19	2.409
27.91	22.68	64.40	17.48	15.28	2.423
29.10	22.49	57.10	16.53	14.49	2.302
27.12	22.15	65.50	17.02	14.83	2.353
25.56	21.87	72.90	17.37	15.06	2.389
25.56	21.87	72.90	17.37	15.06	2.389
25.17	21.77	74.70	17.42	15.08	2.392
24.79	22.04	79.10	18.06	15.63	2.476
24.01	21.56	81.00	17.70	15.27	2.419
22.48	20.01	80.20	16.06	13.75	2.184
22.09	20.17	84.30	16.51	14.12	2.242
19.81	18.48	88.40	15.16	12.85	2.043
20.19	19.03	90.00	15.79	13.40	2.130

TBS: Temperatura do ar

TBU: Temperatura de Bulbo Úmido

REL: Umidade relativa do ar

ABS: Umidade absoluta

TAX: Taxa de umidade

PVA: Pressão de vapor

ANEXO C

Desempenho térmico de coberturas verdes

Por Elena Palomo Del Barrio

- Re - refletância da superfície do solo (base) (eq 2)
- Us - transmitância de onda curta (W/(m²K)) (Ts 2)
- ls - irradiância de onda curta na superfície da folhagem (W/m²) (eq 7)
- U - transmitância de onda longa (W/(m²K)) (T12)
- σ - constante de Stefan-Boltzman (W/(m²K⁴)) (1)
- Tsky - temperatura do céu (K) (4)
- Tp - temperatura da superfície da folha (K) (7)
- Ts - temperatura superficial do solo (base) (K) (**)
- hg - coeficiente de convecção do transporte de calor (ar entre as folhas e a base) (W/(m²K)) (2)
- Ta - temperatura do ar acima das folhas (K) (**) (<Tat)
- hg~ - coeficiente de convecção do transporte de vapor (ar entre as folhas e a base) (K/(m²*s*Pa)) (2)
- ea - pressão de vapor entre as folhas (Pa)
- hg~ - coeficiente de convecção do transporte de vapor (ar entre as folhas e a base) (K/(m²*s*Pa)) (2)
- ha~ - pressão de vapor entre as folhas (Pa)
- ha~ - coeficiente de convecção do transporte de calor (ar entre as folhas e ar externo) (K/(m²*s*Pa)) (2)
- ha~ - coeficiente de convecção do transporte de calor (ar entre as folhas e ar externo) (W/(m²K)) (2)

- r_{mn} - resistência mínima com magnitude de origem fisiológica (s/m) (2)
- C1, C2, C3, C4, C5, a, b, m e n - coeficientes empíricos (2)
- q_s - incremento de irradiância de onda curta (2)
- LAI - índice de área da folha (2 e 7)
- T_m - temperatura ambiente média (K) (2)
- CO2 - concentração de gás carbônico no ar (ppm) (6)
- ep - pressão de vapor na superfície da folha (Pa) (**)
- l - comprimento das folhas (m) (2)
- μ - velocidade do vento (m/s) (*)

Camadas de transição

Fluxo de calor na interface solo-suporte(1)

Rq	Us	ls	Uj	σ	Tsky(K)	Tp(K)	Tq(K)	FT(1)	hg	Ta (K)	hg~	ea	FT(2)
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	276.36	286.20	289.92	-21.74	2	287.4	1.76E-11	1.332	-26.7743
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	276.19	285.40	289.92	-25.88	2	286.6	1.76E-11	1.252	-32.5118
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	276.10	285.00	289.92	-27.93	2	286.2	1.76E-11	1.205	-35.3677
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	276.04	284.70	289.92	-29.47	2	285.9	1.76E-11	1.180	-37.5036
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	275.96	284.60	289.92	-29.99	2	285.5	1.76E-11	1.160	-38.8235
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	275.96	284.50	289.92	-30.50	2	285.5	1.76E-11	1.148	-39.3311
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	275.96	284.60	289.92	-29.99	2	285.5	1.76E-11	1.169	-38.8233
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	276.20	285.70	289.92	-24.48	2	285.5	1.76E-11	1.183	-38.3152
0.2	0.0760372	0	0.03075201	5.68E-08	276.20	285.70	289.92	-24.34	2	286.6	1.76E-11	1.510	-30.9769
0.2	0.0760372	22	0.03075201	5.68E-08	276.84	288.90	289.92	-6.19	2	289.7	1.76E-11	1.592	-6.63444
0.2	0.0760372	110	0.03075201	5.68E-08	277.06	290.70	289.92	8.84	2	290.8	1.76E-11	1.622	10.59778
0.2	0.0760372	283	0.03075201	5.68E-08	277.37	293.70	289.92	35.89	2	292.2	1.76E-11	1.731	40.64626
0.2	0.0760372	403	0.03075201	5.68E-08	277.61	295.30	289.92	52.23	2	293.5	1.77E-11	1.733	59.38034

Fluxo de calor na interface solo-vegetação(2)

ha~	Λ	V	ha~	ha~	es	g _{vap,ar}
3.09E-05	1807752	62863.43	3511200	3511200	1351	-0.006547
3.09E-05	1809688	62827.12	3511200	3511200	1317	-0.00392
3.09E-05	1810656	62805.76	3511200	3511200	1293	-0.00315
3.09E-05	1811382	62794.37	3511200	3511200	1292	-0.00241
3.09E-05	1812350	62785.11	3511200	3511200	1295	-0.00167
3.09E-05	1812350	62779.42	3511200	3511200	1284	-0.0016
3.09E-05	1812350	62789.38	3511200	3511200	1307	-0.0016
3.09E-05	1812350	62795.79	3511200	3511200	1320	-0.00164
3.09E-05	1809688	62927.59	3511200	3511200	1393	-0.00509
3.09E-05	1802186	63043.05	3511200	3511200	1472	-0.00266
3.09E-05	1799524	63123.03	3511200	3511200	1428	-0.00402
3.1E-05	1795894	63167.98	3511200	3511200	1442	-0.00359
3.1E-05	1792990	63168.69	3511200	3511200	1370	-0.00583

ϵ - porosidade do solo (%) (2)
 α - constante (2)
 D_v - coeficiente de difusão do vapor no ar livre (m²/s) (constante) (2)
 D - coeficiente de difusão do vapor d'água no ar livre (m²/s) (2)
 p_s - pressão de saturação (Pa) (PVS) (6)
 g - aceleração gravitacional (m/s²) (2)
 R_v - constante do vapor d'água (J/(kg·K)) (2)
 T - temperatura absoluta (K) (**)
 p_v - pressão do vapor d'água (Pa) (PVS) (6)
 P - pressão total (Pa) (2)
 DvT - coeficiente não isotérmico de difusividade de vapor (kg·m²/(s·K)) (2)

r_e - resistência externa da vegetação (s/m) (2)
 r_i - (r_{CO_2} , r_i -(CO₂) e r_i -(H₂O)) - incrementos do cálculo da resistência interna (2)
 r_s - resistência interna para a transferência de vapor da vegetação (s/m) (2)
 Ψ - potencial total da água em equilíbrio com o vapor (m) (2)
 ρ - densidade aparente do solo (kg/m³) (2)
 ρ_s - densidade específica das partículas (kg/m³) (2)
 λ - calor latente de vaporização (J/kg) (1)
 γ - constante psicrométrica termodinâmica (Pa/K) (1)
 e^* - pressão de vapor do ar externo (Pa) (PVP) (8)

L varia entre 0.2 e 1m R varia entre 125 e 1000 1/s

Fluxo de calor(4)

R	L	pcp	T _∞	qconv,a**
500	0.4	17556	289.4	FC(4)
500	0.4	17556	288.6	7022400
500	0.4	17556	288.2	7022400
500	0.4	17556	287.9	7022400
500	0.4	17556	287.5	7022400
500	0.4	17556	287.5	7022400
500	0.4	17556	287.5	7022400
500	0.4	17556	287.5	7022400
500	0.4	17556	288.6	7022400
500	0.4	17556	291.7	7022400
500	0.4	17556	292.8	7022400
500	0.4	17556	294.3	7022400
500	0.4	17556	295.5	7022400

Taxa de transferência de vapor d'água entre a base e o ar no interior da vegetação(5)

TT(r5)	qvap, gas=qvap, ag
3.44844E-09	
3.37739E-09	
3.34155E-09	
3.34082E-09	
3.32195E-09	
3.30467E-09	
3.3393E-09	
3.33896E-09	
8.42998E-10	
-5.98511E-10	
-1.12888E-09	
-3.04999E-09	
-3.09021E-09	

Taxa de transferência de calor sensível entre a base e o ar no interior da folhagem(6)

TT(r6)	qconv, gas=qconv, ag
-5.04167	
-6.64167	
-7.44167	
-8.04167	
-8.84167	
-8.84167	
-8.84167	
-8.84167	
-6.64167	
-0.44167	
1.758333	
4.758333	
7.158333	

Ki - coeficiente de extinção para radiação de onda longa (2)
 Ks - coeficiente de extinção para radiação de onda curta (2)
 p* - refletância de uma camada vegetal densa (2)
 p* - refletância das folhas (2)
 R - taxa de troca de ar (1/s) (2)
 L - altura da vegetação (m) (2)
 po - capacidade térmica da vegetação (J/(kg*K)) (2)
 T* - temperatura do ar externo (K) (Tex) (**)

ω - mistura volumétrica (3)
 ρcp(ω) - capacidade térmica do solo (J/(kg*K)) (2)
 λ(ω)10^7 - condutividade térmica efetiva do solo (W/(m*K)) (2)
 Ts - temperatura no topo do solo (K) (Tt) (**)
 Tl - temperatura no fundo do solo (K) (*)

λs - condutividade térmica (W/(m*C) (5)
 d - espessura (m) (**)
 Tin - temperatura interna (K) (**)

Hveg N1 N2 LAI
 0.4 6.399015 0.851383 4.266397
 1 6.4037 2.057967 5.477667

LAI varia entre 2 e 5
 I varia entre 0.05 e 0.30 m

Fluxo de energia consumida pela evaporação de água em folhas(7)

rmin	C1	C2	C3	C4	C5	ψs~	LAI	Tm	CO2	ep	a	b	m	n	l	u	EnEvap qtrans.pa FE(7)	re	ri~(qs)	ri~(Tp)
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.518	1174	207	0.5	0.25	0.2	0.8	5.19E-08	154.8853	7.962963	1576.198
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.440	1174	207	0.5	0.25	0.2	0.3	1.29E-07	251.9069	7.962963	1566.583
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.403	1174	207	0.5	0.25	0.2	0	-6.8E-08	750.1192	7.962963	1561.786
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.375	1174	207	0.5	0.25	0.2	0.1	-1E-07	425.873	7.962963	1558.193
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.366	1174	207	0.5	0.25	0.2	0	-3.1E-08	806.0555	7.962963	1556.996
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.357	1174	207	0.5	0.25	0.2	0	-2.9E-08	785.1011	7.962963	1555.8
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.366	1174	207	0.5	0.25	0.2	0	-7.9E-08	806.0555	7.962963	1556.996
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.375	1174	207	0.5	0.25	0.2	0.3	-2.8E-07	252.1746	7.962963	1558.193
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	0	4.2	24.5	379	1.469	1174	207	0.5	0.25	0.2	0.3	5.88E-09	252.1076	7.962963	1570.185
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	2.619048	4.2	24.5	379	1.652	1174	207	0.5	0.25	0.2	1.4	-2E-08	116.9725	2.190232	1608.869
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	13.09524	4.2	24.5	379	1.576	1174	207	0.5	0.25	0.2	1.6	-1.7E-07	109.4275	1.275756	1630.836
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	33.69048	4.2	24.5	379	1.507	1174	207	0.5	0.25	0.2	1.5	6.88E-08	113.0003	1.109844	1667.779
82	4.3	0.54	0.023	6.1E-07	4.3	47.97619	4.2	24.5	379	1.414	1174	207	0.5	0.25	0.2	1.7	2.48E-08	106.1453	1.0775	1687.651

Referências Bibliográficas

- CAMPOS, A.T. et al. *Estudo do potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá, Estado do Paraná*. Acta Scientiarum, v.24, nº 05, p.1575-1581, Maringá / 2002.
- DEL BARRIO, E. P. *Analysis of the green roofs cooling potential in buildings*. Energy and Buildings, v.27, nº 02, p.179-193, Abril / 1998.
- LEE, S.I; ZOOGLINGER, D.G.; LYTTON, R.L. *Determination of volumetric moisture content of pavement sublayers using time domain reflectometry based on micromechanics*. TDR, Purdue University / 2006.
- MCLELLAN, T.M & PEDERSEN, C.O. *Investigation of outside heat balance models for use in a heat balance cooling load calculation procedure*. ASHRAE Transactions, v.103, p. 02. American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers / 1997.
- RIVERO, R. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. 1ª edição, Porto Alegre, Ed. Luzzatto / 1985.
- ROCHA, D. *Taxa de emissão de gás carbônico dobrou em 10 anos*. Disponível em www.ambienteemoco.com.br/noticias09-12-2006. Acesso em: 14/12/2006.
- RORIZ, M. *Jardim 1.1 - Temperaturas superficiais em vegetação*. Versão 1.1, JARDIM.EXE. São Carlos / 2003. Aplicativo, 264 KB.
- RORIZ, M. *Psicrom 1.0 - Relações psicrométricas*. Versão 1.1, PSICROM.EXE. São Carlos / 2003. Aplicativo, 400 KB.

(*) Medições realizadas por estações climatológicas próximas (EESC / CRHEA).

Ki varia entre 0.4 e 1

ri~(CO2)	ri~(ep-ee)	Tn-Ta	ri
1.019545	431	1,2	4,52E+08
1.019545	69,8	1,2	72795357
1.019545	276,2	1,2	2,87E+08
1.019545	108,5	1,2	1,13E+08
1.019545	1243,7	0,9	1,29E+09
1.019545	1897,3	1	1,97E+09
1.019545	2111,7	0,9	2,19E+08
1.019545	18,2	0,8	18879373
1.019545	34061,3	0,9	3,58E+10
1.019545	37995,8	0,8	1,12E+10
1.019545	1394,2	0,1	2,43E+08
1.019545	11185,3	1,4	1,73E+09
1.019545	89165,8	1,8	1,36E+10

Taxa de transferência de calor sensível entre a folhagem e o ar em seu interior(8)

TTr(8)	qconv_psa=qconv_ap
1144,029	
702,4994	
235,9151	
415,5335	
164,6578	
187,8362	
164,6578	
467,8358	
526,4553	
1008,582	
134,7654	
-1827,06	
-2500,79	

Fluxo de radiação solar absorvido pela vegetação(9)

Ki	Ks	ρ∞	ρs	FRs(9)	φrad_sol
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	0	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	18,03006	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	90,15028	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	231,9321	
0,829	0,61346	0,12	0,104501	330,2778	

Fluxo de radiação térmica em uma vegetação(10)

φrad_TIR	FR(10)
-28,6734	
-21,2281	
-17,5322	
-14,7626	
-14,1235	
-13,1151	
-14,1172	
-15,1267	
-24,2627	
-54,6792	
-72,9455	
-104,456	
-121,353	

Fluxo térmico das folhas (radiação absorvida+radiação nas folhas+fluxo térmico entre a folhagem e o ar em seu interior+energia da transpiração)(11)

Fca(11)
1115,356
681,2713
218,383
400,7709
150,5343
174,7211
150,5406
452,7091
502,1925
971,9327
151,9701
-1699,59
-2291,86

p varia entre 1100 e 1500 kg/m³ α varia entre 0.58 e 0.67
 ψ=-10^-6.15 m (escassez) ou -10^-4.71 m (fartura)

Fluxo de calor do ar no interior da folhagem (troca com as folhas+troca com a base+troca com o ar livre)(12)

F1fo(12)

7021261
7021704
7022172
7021993
7022244
7022221
7022244
7021941
7021880
7021392
7022263
7024222
7024894

Fluxo de vapor no interior da folhagem (troca com as folhas(0)+troca com a base+troca com o ar livre)(13)

F1fo(13)

-0.00547
-0.00392
-0.00315
-0.00241
-0.00167
-0.0016
-0.0016
-0.00164
-0.00509
-0.00266
-0.00402
-0.00359
-0.00583

Camada de solo (base)
 Fluxo térmico(14)

ψ	ρ	ρs	ε	α	D0	D	ps	Q
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.863	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.775	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.731	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.689	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.648	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.648	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.648	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	1.775	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	2.152	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	2.311	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	2.539	9.8
2E-05	1300	2700	51.85185	0.63	0.0000611	0.001996	2.724	9.8

ω varia entre 4 e 25%

Camada de suporte (estrutura)
Fluxo térmico(15)

Rv	T	Pv	P	DVT	FT(14)	Ts	Ti	ω	ppp(ω)	$\lambda(\omega)10^7$	As	d	Ti	Tsi	FT(15)	Dia	Hora
462	288.92	1863.448	3726.897	-2.6E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	289.38	-22.0334	18jun	0
462	288.92	1774.933	3549.865	-2.5E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	289.00	-16.2954		1
462	288.92	1730.924	3461.847	-2.4E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	289.00	-16.2954		2
462	288.92	1688.889	3377.778	-2.4E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.62	-10.5574		3
462	288.92	1647.583	3295.165	-2.3E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.62	-10.5574		4
462	288.92	1648.267	3296.534	-2.3E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.62	-10.5574		5
462	288.92	1648.172	3296.343	-2.3E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.62	-10.5574		6
462	288.92	1647.94	3295.88	-2.3E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.23	-4.66842		7
462	288.92	1774.522	3549.045	-2.5E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.23	-4.66842		8
462	288.92	2152.047	4304.094	-3E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.23	-4.66842		9
462	288.92	2310.66	4621.389	-3.2E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	288.62	-10.5574		10
462	288.92	2538.732	5077.465	-3.5E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	289.00	-16.2954		11
462	288.92	2723.658	5447.316	-3.8E-06	1.2E+13	289.92	287.92	21.57	1.18E+08	1.2013E+13	1.51	0.1	287.92	289.76	-27.7714		12