DANIELA ARANTES RODRIGUES LOPES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UMA
COBERTURA VERDE LEVE (CVL) E DIFERENTES
SISTEMAS DE COBERTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Vecchia

São Carlos
2007

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho principalmente a minha família... mas, também, dedico às pessoas que passaram pela minha vida e que, de uma forma ou de outra, deixaram suas diferentes e singulares trajetórias.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Luiz Otávio e Elizabeth e meu irmão Adriano, pela eterna cumplicidade, dedicação, compreensão e amor incondicional. E também a minha família, sempre presente e confiante, em todas as etapas da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Vecchia, do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, que nesses dois anos e meio de convivência contribuiu para meu crescimento científico e intelectual.

Aos amigos do coração, que como já dizia o poeta Vinícius de Moraes, em um trecho no Soneto do Amigo: "... um bicho igual a mim, simples e humano, sabendo se mover e comover, e a disfarçar com meu próprio engano. O amigo, um ser que a vida não explica, que só se vai ao ver outro nascer, e o espelho da minha alma se multiplica...". Em especial a Clara, Érica, Gabriel, Juliano, Lara, Patrícia, Renata, Vivian e Yuri.

Ao Prof. Dr. Woodrow Roma, pela atenção e colaboração dada na análise final da pesquisa.

A Eleninha, bibliotecária da EESC-USP, pela paciência, dedicação e orientação em relação às normas científicas adotadas.

A Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

EPÍGRAFE

“No mistério do sem-fim
equilibra-se um planeta.
E, no planeta, um jardim,
e, no jardim, um canteiro;
no canteiro uma violeta,
e, sobre ela, o dia inteiro,
entre o planeta e o sem-fim,
a asa de uma borboleta.”

(Cecília Meireles)

RESUMO

LOPES, D. A. R. 2007. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP.

A presente pesquisa teve como objetivo principal analisar experimentalmente o **comportamento térmico** de um sistema de cobertura verde leve (CVL) e, também, comparar o **comportamento térmico** entre os diferentes sistemas de cobertura, frente aos ganhos térmicos no período de transição entre as estações primavera-verão, na cidade de São Carlos-SP. Os sistemas de cobertura em análise foram: 1) aço galvanizado, 2) telha de fibrocimento, 3) laje pré-moldada cerâmica, 4) telha cerâmica e 5) cobertura verde leve (CVL). A CVL caracteriza-se por um sistema construtivo que possui laje pré-moldada cerâmica impermeabilizada com resina poliuretana vegetal, geomanta tridimensional leve e flexível para drenagem, camada reduzida de substrato e grama em sua superfície. As vantagens em relação à utilização das **coberturas verdes**, em geral, estão relacionadas à regulação de temperaturas, a melhora na eficiência energética das edificações, a capacidade de retenção das águas pluviais, ao aumento das áreas verdes, a atenuação dos efeitos das ilhas de calor, além da contribuição estética e social no ambiente urbano. A metodologia adotada baseou-se na definição do **dia típico experimental** e nos parâmetros da **inércia térmica** aplicados aos componentes construtivos da cobertura. As medições experimentais foram realizadas em células de teste no canteiro experimental da Universidade de São Paulo (USP), pelo grupo de *Ecotecnologias: novos materiais e procedimentos*. Foram armazenados em um sistema de aquisição automática de dados, registros referentes às temperaturas do ar externo e interno às células de teste e da temperatura superficial interna dos sistemas de cobertura. Como resultado, a CVL apresentou um bom comportamento no que se refere à atenuação das variações de temperaturas internas à edificação, frente às temperaturas do ar externo. Obteve, também, a menor temperatura superficial na face interna do sistema de cobertura, quando comparada aos outros sistemas construtivos. Por tanto, conclui-se que a CVL constitui-se de alternativa viável para construção, devido a sua capacidade de amortecimento e atraso do fluxo térmico (**inércia térmica**), contribuindo com o estabelecimento de temperaturas internas mais amenas e, além disso, por fundamentar-se em preceitos de uma arquitetura de maior consonância com o ambiente natural.

Palavras - chave: Comportamento térmico. Coberturas verdes. Dia típico experimental. Inércia térmica.

ABSTRACT

LOPES, D. A. R. 2007. **Analysis of the thermal behavior of an extensive green roof and different roof systems**. Dissertation (M.Sc.). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP.

The present research main objective was to experimentally analyze the **thermal behavior** of an extensive green roof system and also to compare different roof system **thermal behavior**, considering their thermal profits in the period of transition between the stations spring-summer, in the city of São Carlos-SP. The roof systems analyzed were: 1) galvanized steel, 2) earth flax, 3) paving-stone, 4) ceramic tile and 5) extensive green roof. The extensive green roof can be characterized as a constructive system that holds a waterproofed paving-stone with vegetable resin, a slight and flexible three-dimensional geomat, used for draining, a reduced layer of substratum and grass in its surface. The **green roofs** advantages are mainly related to temperatures regulation, improvement of energy efficiency in constructions, possibility of pluvial waters retention (runoff), increase of green areas, attenuation of heat islands effects, beyond the aesthetic and social contribution for the urban environment. The methodology used was based on the definition of the **experimental typical day** and the parameters of the **thermal inertia** applied to the constructive components of the cover. The experimental measurements had been carried in test of cells located in the experimental base of the University of São Paulo (USP), by the group of *Ecotecnologys: new materials and procedures*. They were stored in a system of automatic acquisition of facts, records regarding the temperatures of the internal and external air in the test of cells, and the superficial temperature of the internal roof systems. As a result, the extensive green roof presented a good behavior, considering the attenuation of the construction internal temperatures variations, facing the temperatures of the external air. It presented, also, the lesser superficial temperature of the internal face of the roof system, when compared with the other constructive systems. Therefore, one concludes that the extensive green roof consists of a feasible alternative for construction, due to its capacity of damping and delaying the thermal flow (**thermal inertia**), contributing to the establishment of pleasant internal temperatures and, moreover, for basing its rules on architecture patterns more sensitive to environmental issues.

Keywords: Thermal behavior. Green roofs. Experimental typical day. Thermal inertia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Imagem artística dos Jardins Suspensos da Babilônia.....	18
Figura 02: Edificação tradicional de terra e gramíneas (Haukadalur - Islândia).....	19
Figura 03: Edificação em Newfoundland (Canadá).....	20
Figura 04: Mosteiro do Monte Saint-Michel (França).....	21
Figura 05: Cobertura verde intensiva - Millenium Park (Chicago - EUA)	24
Figura 06: Coberturas verdes extensivas (Austrália).....	25
Figura 07: Coberturas verdes acessíveis - Escola de Arte e Design (Cingapura)	27
Figura 08: Coberturas verdes inacessíveis (Berlin - Alemanha).....	28
Figura 09: Sobreposição de camadas em uma cobertura verde.....	30
Figura 10 e 11: Perfuração por raízes em superfície impermeabilizada com betume e PVC, respectivamente	40
Figura 12: Escoamento pluvial em uma cobertura verde e em um telhado convencional, respectivamente	48
Figura 13: Ilustração com os pontos das medições e suas respectivas alturas	63
Figura 14: Trocas de calor em uma cobertura	78
Figura 15: Parâmetros relativos à inércia térmica	81
Figura 16: Localização do Município de São Carlos em relação ao Estado de São Paulo e ao Brasil.....	84
Figura 17: Localização do canteiro experimental no Campus da USP - São Carlos	85
Figura 18: Corte e planta esquemático das células de teste	86
Figura 19: Células de teste no canteiro experimental da USP - São Carlos	87
Figura 20: Células de teste com telha de aço galvanizado, fibrocimento, laje pré-moldada cerâmica e telha cerâmica, respectivamente, no canteiro experimental da USP - São Carlos ...	87
Figura 21: Elevação de paredes para modificação de inclinação e construção da CVL.....	89
Figura 22: Laje para sustentação do sistema de CVL.....	89
Figura 23: Platibanda finalizada.....	90
Figura 24: Aplicação da pasta de cimento em cima da laje e da platibanda	91
Figura 25: Aplicação da resina polimérica vegetal na laje da CVL.....	91
Figura 26: Geomanta MacDrain® 2L	92
Figura 27: Colocação da grama esmeralda (<i>Zoysia japonica</i>) no sistema de CVL	93

Figura 28: Sistema de CVL em célula de teste no canteiro experimental da USP - São Carlos..	94
Figura 29: Sistema de aquisição automática de dados no interior da caixa térmica	96
Figura 30: Termopar (cobre/constantin) com ponta eletro-soldada	96
Figura 31: Estação meteorológica automática do Laboratório de Construção Civil - Departamento de Arquitetura e Urbanismo (USP - São Carlos).....	97
Figura 32: Temperaturas máximas do ar externo durante o episódio representativo do fato climático (04 a 10 de outubro de 2004)	108
Figura 33: Imagens de satélite (GÓES) no período de 04 a 11 de outubro 2004	109
Figura 34: Temperaturas máximas do ar externo durante o dia típico experimental	111
Figura 35: Radiação solar global registrada no dia 09 de outubro 2004 (dia típico experimental)	112
Figura 36: Valores das temperaturas registradas no dia 09 de outubro 2004 referente às medições no interior da célula de teste com CVL (temperatura do ar e temperatura superficial do sistema construtivo) e da temperatura do ar externo.....	113
Figura 37: Temperaturas superficiais internas dos cinco sistemas de cobertura em análise e a temperatura do ar externo	116
Figura 38: Temperatura do ar interno e externo às células de teste com diferentes sistemas de cobertura	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Descrição das vantagens e desvantagens entre uma cobertura verde intensiva e uma cobertura verde extensiva	26
Quadro 02: Descrição do sistema construtivo de coberturas verdes	31
Quadro 03: Diferentes formas de ajardinar uma cobertura verde	33
Quadro 04: Descrição de espécies vegetais analisadas segundo pesquisa realizada na cidade do Rio de Janeiro-RJ sobre a utilização de plantas em coberturas de edificações	34
Quadro 05: Políticas públicas desenvolvidas na cidade de Portland (Oregon - EUA)	56
Quadro 06: Políticas públicas desenvolvidas na cidade de Basel (Suíça - Europa).....	56
Quadro 07: Membros da rede mundial de infra-estrutura para coberturas verdes.....	59
Quadro 08: Análise das propriedades térmicas das coberturas verdes e investigação de seu desempenho energético	62
Quadro 09: Investigação dos benefícios térmicos de jardins em coberturas no ambiente tropical.....	64
Quadro 10: Medições experimentais e modelos numéricos de uma cobertura verde	66
Quadro 11: Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP	68
Quadro 12: Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha	71
Quadro 13: Conceituação dos mecanismos físicos para trocas térmicas	76
Quadro 14: Definição dos parâmetros para análise da inércia térmica	80
Quadro 15: Descrição dos materiais e componentes utilizados para a construção do sistema de CVL	88
Quadro 16: Descrição dos equipamentos do sistema de aquisição de dados	95
Quadro 17: Composição instrumental da estação meteorológica automática	98
Quadro 18: Descrição de sensores utilizados nas medições	98
Quadro 19: Comparação entre as etapas pré-frontal e pós-frontal	101
Quadro 20: Descrição das imagens de satélite (GÓES).....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Valores de temperaturas registrados no sistema de CVL e suas respectivas amplitudes térmicas.....115

Tabela 02: Valores das temperaturas superficiais internas, nos distintos sistemas de cobertura analisados, com suas respectivas amplitudes e amortecimentos térmicos118

Tabela 03: Valores do atraso térmico dos distintos sistemas de cobertura analisados, em comparação ao sistema de CVL, referente às temperaturas superficiais internas119

Tabela 04: Valores das diferentes temperaturas do ar interno, nos distintos sistemas de cobertura do experimento, com suas respectivas amplitudes térmicas120

Tabela 05: Atraso térmico dos distintos sistemas de cobertura analisados em relação à temperatura do ar externo.....122

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
2 OBJETIVOS.....	16
3 COBERTURAS VERDES	17
3.1 Breve colocação histórica	17
3.2 Definição	23
3.3 O sistema construtivo.....	29
3.4 Componentes do sistema construtivo	31
3.4.1 Vegetação.....	31
3.4.2 Substrato	36
3.4.3 Sistema de drenagem.....	38
3.4.4 Impermeabilização e membrana anti-raiz	39
3.4.5 Suporte estrutural	40
3.5 Os benefícios.....	41
3.5.1 Aumento das áreas verdes nas cidades	41
3.5.2 Regulação da temperatura	42
3.5.3 Maior vida útil.....	45
3.5.4 Proteção contra incêndio	46
3.5.5 Retenção das águas pluviais	47
3.5.6 Efeitos estéticos e sociais.....	49
3.5.7 Melhora na eficiência energética	50
3.5.8 Contribuição à biodiversidade.....	51
3.5.9 Atenuação das ilhas de calor.....	53
3.6 Ações de fomento	54
3.7 Estudos de caso	60
3.8 Manutenção, custos e dificuldades	71
3.9 Comportamento, desempenho e conforto térmico	73
3.10 Trocas térmicas.....	75
3.10.1 A inércia térmica	79

4. MATERIAIS E MÉTODOS	82
4.1 As células de teste	83
4.1.1 Localização	83
4.1.2 Caracterização geral	85
4.1.3 O sistema de cobertura verde leve (CVL)	88
4.2 Medições	95
4.2.1 Equipamentos de medição e armazenamento de dados	95
4.2.2 Valores monitorados nas células de teste	99
4.2.3 Acompanhamento dos estados atmosféricos	100
4.2.4 Análise dos dados climáticos obtidos em superfície	101
4.3 Definição do episódio representativo do fato climático	102
4.4 Avaliação do comportamento térmico dos sistemas de cobertura	105
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
5.1 O episódio representativo e o dia típico experimental	106
5.2 A cobertura verde leve	113
5.3 Os sistemas de cobertura	115
6 CONCLUSÃO	123
REFERÊNCIAS	128
ANEXOS	135

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O contexto da arquitetura moderna, aliada ao estilo internacional, levou à repetição de tipologias arquitetônicas por todo o mundo. Para tanto, pouco se considerou a diversidade das variáveis regionais, peculiares de cada lugar, e sua importância no estabelecimento de um diálogo entre o ambiente construído e o ambiente natural.

Os temas relacionados às questões ambientais ganharam maior ênfase, em decorrência das discussões internacionais na década de 70, devido à preocupação em relação aos impactos no ambiente natural, com dimensões mundiais, gerados pelo consumo de energia fóssil, somado às previsões de alerta a respeito do inevitável crescimento das cidades e de suas demandas por mais recursos naturais.

Com isso, premissas por edificações que levassem em consideração os parâmetros térmicos, bem como sua interação com o entorno, começaram a ser colocadas em pauta novamente. Atualmente, vários estudos vêm sendo propostos e desenvolvidos nesse sentido com o intuito de englobar as questões tecnológicas e ambientais, a partir de uma visão de médio e longo prazo.

Portanto, o tema relacionado às coberturas verdes ressurge neste cenário como uma das tecnologias arquitetônicas que estabelece consonância com o ambiente natural, além de oferecer benefícios tanto na escala das edificações quanto na escala urbana. A Alemanha foi a precursora desse movimento, mas nos dias de hoje, diversas práticas e pesquisas relacionadas às coberturas verdes são desenvolvidas em países da Europa e América do Norte. No entanto, é importante ressaltar que, também, existem outras iniciativas em países como: Austrália, México, Brasil, Cingapura e Japão.

Em geral, as coberturas verdes são formadas por diversas camadas sobrepostas em cima de um suporte estrutural e são diferenciadas na literatura, principalmente, pela espessura total de seu sistema construtivo. Assim, as “coberturas verdes extensivas” caracterizam-se por uma estreita espessura de substrato, plantio de vegetações rasteiras (pequeno porte) e baixa manutenção periódica. Já as “coberturas verdes intensivas” têm uma maior espessura do substrato, sustentam espécies de plantas que vão de gramíneas a árvores e necessitam de um sistema de irrigação e de manutenções periódicas.

Uma das vantagens que a cobertura verde proporciona é a atenuação das temperaturas nos ambientes internos às edificações devido ao efeito de inércia térmica, referente aos elementos do sistema construtivo. Assim, ocorre um atraso na transmissão do fluxo de calor proveniente da radiação solar, onde as máximas temperaturas registradas no interior da edificação acontecem quando, a temperatura do ar externo é menor do que a temperatura do ar interno.

Nesse contexto, a presente pesquisa buscou mensurar, primeiramente, o quanto uma cobertura verde, de baixo peso próprio, contribui para minimizar as oscilações da temperatura do ar interno de um ambiente, frente às excitações da temperatura do ar externo. Posteriormente, buscou-se comparar o comportamento térmico da cobertura verde com quatro outros sistemas de cobertura, analisando os valores das temperaturas superficiais na face interna do sistema construtivo frente às temperaturas do ar externo.

As medições experimentais tiveram início, aproximadamente, três anos atrás, pelo grupo de *Ecotecnologias: novos materiais e procedimentos*. Foram realizadas no canteiro experimental do campus da Universidade de São Paulo (USP), localizado na cidade de São Carlos - SP. No canteiro experimental têm-se diversas

células de teste, obedecendo a um mesmo padrão construtivo (exceto em relação aos sistemas de cobertura) e uma estação meteorológica automática.

A abordagem climática adotada, para definir o período de análise dos dados meteorológicos e dos valores monitorados nas células de teste, baseia-se nos critérios da climatologia dinâmica, por incorporar ao estudo experimental o estado atmosférico dominante das massas de ar. Nessa perspectiva, entende-se o clima como o encadeamento sucessivo e contínuo dos estados atmosféricos e suas articulações, no sentido de retorno aos mesmos estados. Assim, compreende-se a ação das massas de ar sobre uma determinada região, bem como suas repercussões no ambiente construído.

O período em análise deste estudo denominou-se episódio representativo do fato climático¹, por expressar períodos críticos em relação às sensações térmicas impostas pelas excitações do clima que uma região pode estar submetida. Com referência a presente pesquisa, o episódio representativo compreendeu os dias 04 a 10 de outubro de 2004, devido ao registro das altas temperaturas do ar externo e da incidência da radiação solar global.

A análise do comportamento térmico se deu a partir dos valores monitorados nesse período que, posteriormente, foram transformados em gráficos para uma melhor visualização e interpretação das informações. Os parâmetros adotados para avaliação e comparação dos diferentes comportamentos dos sistemas de cobertura foram em relação à inércia térmica dos elementos construtivos.

Nesse sentido, uma das fundamentações para a pesquisa do comportamento térmico de coberturas em edificações deve-se aos elevados ganhos térmicos, provenientes da radiação solar, que essa parte da envolvente recebe durante o dia.

¹ Conceituação definida por Vecchia (1997).

Salienta-se que a radiação solar é a principal fonte do aumento excessivo das temperaturas nos materiais construtivos e, conseqüentemente, é a que mais transfere parte de seu fluxo térmico para o interior dos espaços edificados.

O critério ideal para avaliar edificações que proporcionem um equilíbrio mais harmônico em relação ao ambiente externo talvez fosse aquele que levasse em consideração todas as variáveis construtivas, bem como as necessidades fisiológicas e subjetivas do ser humano. No entanto, a avaliação do comportamento dos elementos construtivos, por um melhor equilíbrio térmico dos fechamentos, também é de extrema relevância, pois sem o qual seria difícil estabelecer critérios para qualquer definição de bem-estar.

2 OBJETIVOS

GERAL

O objetivo principal dessa pesquisa foi analisar o comportamento térmico do sistema de cobertura verde leve (CVL) e, também, comparar o comportamento térmico entre diferentes sistemas de cobertura, frente aos ganhos térmicos no período de transição entre as estações primavera-verão, na cidade de São Carlos-SP. Os sistemas de cobertura em análise foram: 1) aço galvanizado, 2) telha de fibrocimento, 3) laje pré-moldada cerâmica, 4) telha cerâmica e 5) cobertura verde leve (CVL).

ESPECÍFICOS

- Reunir referências sobre o estudo das coberturas verdes para fundamentar teoricamente a presente pesquisa;
- Caracterizar e situar o contexto do experimento;
- Determinar a definição do episódio representativo do fato climático;
- Sistematizar em forma de gráficos e tabelas, os valores monitorados no interior das células de teste e os dados meteorológicos tomados em superfície (temperatura do ar externo, temperatura do ar interno e temperatura superficial interna do sistema construtivo de cobertura);
- Analisar o comportamento térmico do sistema de CVL;
- Comparar o comportamento térmico de diferentes sistemas construtivos de coberturas.

3 COBERTURAS VERDES**3.1 Breve colocação histórica**

As coberturas verdes não são fenômenos novos, este sistema construtivo foi considerado prática padrão em muitos países por centenas de anos, principalmente, por causa das excelentes qualidades térmicas promovidas pela combinação das camadas de vegetação e substrato (PECK et al., 1999). Nos climas frios da Islândia, Escandinávia, Estados Unidos e Canadá, as coberturas verdes ajudam a reter o calor no edifício, já em climas quentes como o da Tanzânia contribui mantendo o calor externo à edificação (MINKE, 2003).

Durante o império romano em Pompéia, no sul da Itália, era comum o crescimento de videiras em cima das varandas. Os romanos também usavam plantar árvores sobre o alto dos edifícios institucionais, tais como os mausoléus de Augusto e Adriano III. Os Vikings empregavam nas paredes e nas coberturas, camadas de gramíneas para se protegerem das intempéries e às vezes utilizavam algas marinhas para isolar termicamente a cobertura (PECK et al., 1999).

Segundo Dinsdale, Pearen e Wilson (2006), a cobertura verde mais antiga e famosa foi os Jardins Suspensos da Babilônia (Figura 01), considerado uma das sete maravilhas do mundo antigo. Construído provavelmente por volta de 600a.C., cobria uma área de 2000m² com árvores, arbustos e trepadeiras.

Figura 01: Imagem artística dos Jardins Suspensos da Babilônia
Fonte: Dinsdale, Pearen e Wilson (2006)

As coberturas verdes antigas de Roma e da Itália eram impressionantes por sua extravagância e diversidade de construções, no entanto a base das coberturas verdes modernas encontra-se na Islândia (Figura 02) e na Escandinávia (DISNDALE; PEAREN; WILSON, 2006 e HENDERSON, 2003).

Figura 02: Edificação tradicional de terra e gramíneas (Haukadalur - Islândia)
Fonte: Burgess (2004)

De acordo com Minke (2003), na Islândia tinha-se a tradição de construir coberturas com duas ou três camadas de esterco com carvão vegetal e depois sobrepor grossos rolos de grama. Apesar da cobertura não ser impermeável, sua inclinação era suficiente para não infiltrar água, nem da chuva e nem da neve ao derreter. Já a tradicional cobertura de gramínea da Escandinávia possui uma inclinação entre 30° e 45° graus, onde uma camada grossa de terra com grama é colocada sobre várias camadas de cortiça. Quando impermeabilizada, a cortiça é bem resistente à decomposição, à passagem de raízes e à infiltração. A vida útil de uma cobertura dessas é de aproximadamente vinte anos.

Em uma técnica similar foram erguidas há aproximadamente cem anos, casas com camadas de terra e gramíneas, nas cidades do norte dos Estados Unidos e Canadá (Figura 03). O sistema construtivo empregado procede provavelmente do norte da Europa. A construção da cobertura era constituída de: caibros, ripas, ramos secos, relva de pradaria e duas camadas de terra com gramíneas (0,10m de espessura cada), colocadas em cima de grossas paredes de 0,60m a 0,90m de largura, também, de terra com gramíneas (MINKE, 2003).

Figura 03: Edificação em Newfoundland (Canadá)
Fonte: Hurstwic (2007)

De acordo com Grant et al. (2003), um dos exemplos de coberturas verdes reconstruído no século XIII é o mosteiro do Monte Saint-Michel (Figura 04), situado na Normandia (noroeste da França), possui vários tipos de vegetações como gramíneas, herbáceas e arbustos em sua cobertura.

Figura 04: Mosteiro do Monte Saint-Michel (França)
Fonte: La Coquillonnerie (2007)

Uma das primeiras edificações da renascença com coberturas verdes foi o Pallazzo Piccolomini, na cidade de Pienza (Itália), construído pelo Papa Pio II, no século XV. Outros dois notáveis exemplos de coberturas verdes podem ser vistos também na Rússia imperial, como o Kremlin (complexo histórico fortificado), na cidade de Moscou e o museu Hermitage, em São Petersburgo, fundado no ano de 1764 (GRANT et al., 2003).

Visto principalmente como uma prática vernacular até o meio deste século, só recentemente as práticas construtivas em relação às coberturas verdes foram adotadas extensamente na Europa (PECK et al., 1999).

As modernas coberturas verdes foram introduzidas na Alemanha nos anos 70 por indústrias, arquitetos, paisagistas e pesquisadores de universidades. Em 1971, Gerda Gollwitzer e Werner Wirsing esboçam os princípios das coberturas verdes modernas, no livro intitulado *Roof Areas Inhabited, Viable, and Covered by Vegetation*. Já Hans-Joachim Liesecke no ano de 1972 escreveu as bases para

coberturas verdes intensivas², em *Roof and Terrace Gardens*. Outros seguiram notavelmente no mesmo processo, como Kolb, Hans Luz, Hans Kienle e Bernd Krupka (VELAZQUEZ, 2005).

Dois modernos defensores da tecnologia das coberturas verdes foram os arquitetos Le Corbusier e Frank Lloyd Wright. Le Corbusier projetou coberturas, como um novo espaço para as áreas verdes e Wright utilizou as coberturas verdes como um instrumento para integrar suas edificações com a paisagem. Naquela época, não previram o possível impacto econômico e ambiental que essa tecnologia teria no ambiente urbano nos dias atuais (PECK; KUHN, 2006).

Na Alemanha, o desenvolvimento do mercado para comercialização e construção de coberturas verdes expandiu-se rapidamente nos anos 80, calculando em média um crescimento anual de 15% a 20%. No ano de 1989, um milhão de m² em coberturas verdes já existiam no país, em 1996 esse número passou para 10 milhões de m². Este crescimento foi estimulado, em sua maior parte, pelas políticas públicas do estado e por programas de incentivos fiscais. Outros lugares como Viena e Áustria, também forneceram subsídios e estabeleceram programas de incentivos fiscais para o desenvolvimento das coberturas verdes em três estágios de projeto: planejamento, construção e manutenção, garantindo inclusive três anos de apoio aos proprietários. Esse interesse renovado deve-se, principalmente, ao rápido declínio dos espaços verdes nas áreas urbanas de intenso desenvolvimento populacional e, conseqüentemente, à perda dos benefícios que estes espaços proporcionam ao ambiente construído (PECK et al., 1999).

² Ver definição na página 23.

3.2 Definição

As coberturas verdes são sistemas planejados de coberturas, que incorporam o uso da vegetação para contribuições ambientais, econômicas e sociais nas áreas urbanas (BRITISH..., 2006). Neste sentido, profissionais da área contribuem, significativamente, com projetos que transformam superfícies de coberturas em espaços ambientalmente funcionais (DVORAK; FLEUR, 2006).

O sistema de coberturas verdes consiste na sobreposição de diversas camadas sobre uma superfície estrutural, que de modo geral incluem: membrana a prova de água (impermeabilização), sistema de drenagem, substrato (meio de crescimento das vegetações) e plantas. Esse sistema construtivo pode ser parte de uma produção pré-fabricada ou cada camada pode ser instalada separadamente na obra, o que é definido com base nos objetivos e restrições de cada projeto. As coberturas verdes com baixa espessura de substrato, ou seja, leves, são denominadas pela literatura como “coberturas verdes extensivas”. Já as coberturas com grande espessura de substrato são denominadas “coberturas verdes intensivas” (ROSENZWEIG; GAFFI; PARSHALL, 2006).

As coberturas intensivas possuem substrato com no mínimo 0,30m de profundidade, necessitam de manutenções periódicas como irrigação, podas e fertilização. Proporcionam suporte a diversas espécies de vegetações, que vão desde gramíneas e arbustos até plantas arbóreas (CONNELLY; LIU, 2005). Como resultado da diversidade vegetal e das diferentes profundidades dos solos que as coberturas verdes intensivas suportam, faz-se necessário um cálculo específico para sua estrutura (DUNNEST; KINGSBURY, 2003).

Na figura 05 observa-se o *Millenium Park*, na cidade de Chicago (Estados Unidos), provavelmente a cobertura intensiva mais extensa do mundo. Integra tecnologia e arte dentro de um espaço público contemporâneo e multifuncional. Em sua superfície têm-se fontes, esculturas, restaurantes, jardins e pista de patinação, abaixo da cobertura verde existem dois estacionamentos subterrâneos e um teatro (GREEN ROOFS GOES TO WASHINGTON, 2005).

Figura 05: Cobertura verde intensiva - Millenium Park (Chicago - EUA)
Fonte: Photo Gallery (2007)

Os sistemas extensivos de coberturas requerem baixa manutenção, pois geralmente, utilizam espécies vegetais tolerantes às condições ambientais adversas e dependendo da construção podem ser instalados em edificações sem alterações estruturais (CONNELLY, 2005). Em relação ao solo, costuma-se fazer uma mistura diversificada no substrato, com material orgânico, terra, areia, pedras e, também, é realizada uma fertilização até as plantas se estabilizarem. O peso do solo saturado de água varia entre 73kg/m^2 a 170kg/m^2 , com sua profundidade alterando entre 0,5m e 0,15m (PECK; KUHN, 2006).³

³ Deve-se salientar que a espessura do substrato, bem como seu peso por metro quadrado, varia entre autores.

A cobertura verde extensiva contém somente uma ou duas espécies de vegetação, como gramíneas, herbáceas e suculentas⁴. É projetada geralmente para a máxima carga hidrológica, bem como o mínimo peso estrutural. Somente as pessoas responsáveis pela manutenção têm acesso a este tipo de cobertura (WARK; WARK, 2003). Na figura 06 observa-se várias edificações em um bairro residencial na Austrália com coberturas verdes extensivas.

Figura 06: Coberturas verdes extensivas (Austrália)
Fonte: Wilson (2007)

Para Johnston e Newton (2004), as coberturas verdes intensivas tradicionais possuem em sua estrutura básica algumas características como solos profundos, sistema de irrigação e condições bem favoráveis para o crescimento das plantas. As coberturas verdes extensivas possuem em geral solos rasos, pouca ou nenhuma manutenção e condições satisfatórias para o desenvolvimento das plantas. No quadro 01 estão relacionadas de forma comparativa as vantagens e desvantagens, segundo os autores, em relação aos dois sistemas construtivos.

⁴ O termo "suculenta" é utilizado genericamente para designar plantas que, de alguma forma, armazenam grande quantidade de água em seu interior. Cerca de 50 famílias, com mais de 600 gêneros e milhares de espécies podem ser consideradas suculentas (BENEDITO; CORRADINI, 2007).

COBERTURAS VERDES INTENSIVAS	COBERTURAS VERDES EXTENSIVAS
Vantagens	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporciona grandes espaços para o estabelecimento da diversidade da fauna e da flora; ▪ Possibilita a utilização do jardim como espaço de contemplação e também para cultivo de alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baixa manutenção em relação à irrigação, podas e fertilização; ▪ Baixo peso estrutural; ▪ Maior flexibilidade em relação à inclinação da cobertura; ▪ Não exige perícia na execução; ▪ Adequado para implementar em edificações existentes; ▪ Possui um custo relativamente baixo.
Desvantagens	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema construtivo complexo e de grande manutenção; ▪ Grande peso estrutural; ▪ Alto custo inicial com a construção e posteriormente com elementos de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geralmente não possui acesso para espaços de contemplação e recreação; ▪ Escolha limitada das espécies vegetais.

Quadro 01: Descrição das vantagens e desvantagens entre uma cobertura verde intensiva e uma cobertura verde extensiva

Fonte: Johnston e Newton (2004)

Outro tipo de cobertura descrito pela literatura são as coberturas verdes semi-extensivas. Esse tipo de cobertura caracteriza-se por solos mais profundos e dão abrigo a uma quantidade grande de variadas espécies vegetais, associadas à fauna local. A profundidade do substrato confere mais peso à estrutura da edificação e, conseqüentemente, exige mais manutenção no que diz respeito à poda, fertilização e irrigação. Esse sistema construtivo comporta desde vegetações como musgos, suculentas e gramíneas até pequenos arbustos (GEDGE et al., 2006).

Segundo Peck et al. (1999), as coberturas verdes também podem ser classificadas como acessíveis ou inacessíveis. Uma cobertura verde acessível é um espaço ao ar livre que permite ser utilizado tanto para contemplação, quanto para

recreação. Algumas exigências de segurança também devem ser determinadas, como ter guarda-corpo e iluminação. As coberturas verdes acessíveis (Figura 07) proporcionam benefícios sociais importantes aos usuários, além de aumentar o valor de mercado da edificação.

Figura 07: Coberturas verdes acessíveis - Escola de Arte e Design (Cingapura)
Fonte: Photo Gallery (2007)

Uma cobertura verde inacessível (Figura 08), na verdade, possui acesso somente para manutenções periódicas. Não apresenta nenhuma exigência em relação a escadas regulamentares, guarda-corpo, iluminação ou outro componente de segurança e podem ser horizontais, curvas ou com declividade acentuada. No entanto, as coberturas com declividade acentuada e com curvas necessitam de tirantes horizontais, servindo de reforço em dias de chuva intensa e impedindo o desmoronamento das camadas superiores (PECK et al., 1999).

Figura 08: Coberturas verdes inacessíveis (Berlin - Alemanha)
Fonte: Minke (2003)

A questão da declividade é outro fator que está ligado ao tipo de cobertura verde adotada, pois quanto mais profunda a espessura do substrato, menos declividade deve ter a cobertura. As declividades das superfícies variam de horizontais até acima de 40° . Nesse sentido, segundo o autor, para otimizar o custo da construção uma declividade satisfatória seria de até 3° , não necessitando assim, de um sistema de drenagem específico e nem de técnicas para contenção dos possíveis deslizamentos (MINKE, 2003).

Tendo em vista as diversas formas de ajardinar uma cobertura e a relação que ela estabelece com cada variável a ser adotada, o presente trabalho destina-se a pesquisar sobre coberturas verdes extensivas e inacessíveis. Nessa perspectiva, o nome utilizado foi: Coberturas Verdes Leves. Esta denominação deve-se aos estudos desenvolvidos, anteriormente, pelo grupo de pesquisa *Ecotecnologias*:

novos materiais e procedimentos, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP), para enfatizar a característica leve do sistema.

3.3 O sistema construtivo

Existe uma extensa disposição de tecnologias e soluções projetuais em relação às construções das coberturas verdes. Algumas dessas informações foram desenvolvidas por instituições privadas, no entanto atualmente, instituições públicas e universidades também estão conduzindo pesquisas na área, que apresentam importantes informações sobre este sistema construtivo. Os estudos são em relação às plantas e substratos utilizados, bem como sobre o comportamento das coberturas verdes nas várias escalas de abordagem (KANE, 2004).

A maioria das coberturas verdes possui um ordenamento dos componentes construtivos de forma similar (Figura 09). O design destes componentes depende do propósito da cobertura, bem como da capacidade estrutural da edificação (GETTER; ROWE, 2006). Partindo da vegetação, tem-se na seqüência o substrato, o filtro, o sistema de drenagem e, por fim, a impermeabilização em cima da laje ou qualquer outra superfície de apoio (OBERLANDER; WHITELAW; MATSUZAKI, 2002).

Figura 09: Sobreposição de camadas em uma cobertura verde
Fonte: Tanner e Scholz-Barth (2004)

No quadro 02 estão especificadas, segundo Wong (2006), a relação e a função de cada componente do sistema construtivo das coberturas verdes. De acordo com Velazquez (2005), outras camadas e elementos opcionais também podem ser intercalados entre estes componentes.

Vegetação
<ul style="list-style-type: none"> As coberturas verdes possibilitam a utilização de diversas espécies vegetais e que, preferencialmente, apresentem baixa manutenção e resistência às particularidades de cada região. Estas plantas são denominadas plantas autóctones⁵.
Substrato
<ul style="list-style-type: none"> Serve de suporte para vegetações rasteiras de baixo peso, com uma espessura que geralmente varia de 0.8m a 0.12m.
Filtro
<ul style="list-style-type: none"> Previne o entupimento da camada de drenagem, para isso, utiliza-se um geotêxtil, com a função de filtrar partículas que se desprendem do solo. Também serve como meio de transporte das águas pluviais para as raízes das plantas, por capilaridade.

⁵ Do lat. *autochtone*, significa nativo (LUFT, 1995).

Drenagem
<ul style="list-style-type: none">▪ Existem diferentes maneiras de se instalar um sistema de drenagem nas coberturas verdes, uma delas é incorporar ao substrato uma camada de material poroso, como areia ou cascalho. Outra forma é utilizar componentes industrializados, como células perfuradas de polipropileno ou geomantas, que ajudam no escoamento das águas pluviais.
Impermeabilização
<ul style="list-style-type: none">▪ A função preliminar de uma cobertura é manter o interior da edificação seco, isto é, impedir à penetração das águas pluviais. Para jardins em coberturas, a superfície impermeabilizada deve, também, ser resistente a perfuração por raízes. Um tipo comum de membrana impermeabilizante, testada e usada extensamente na Alemanha é a membrana termoplástica de PVC.

Quadro 02: Descrição do sistema construtivo de coberturas verdes
Fonte: Wong (2006)

3.4 Componentes do sistema construtivo

3.4.1 Vegetação

As vegetações no contexto urbano não são importantes somente no que diz respeito à função ornamental mas, principalmente, em relação às contribuições ambientais. Para tanto, fixam partículas poluentes em suspensão na atmosfera em suas superfícies e trabalham como reguladoras das altas temperaturas e da umidade do ar no ambiente construído (HORBERT et al., 1982).

A escolha de coberturas verdes com baixo peso próprio caracteriza-se por raras manutenções periódicas, tais como irrigações e podas, o que restringe a uma escala muito pequena de vegetações que possam ser utilizadas. As plantas devem ser escolhidas para que cresçam e prosperem em condições particulares, em relação aos lugares que estão inseridas e, também, para atrair a fauna da região

local. Espécies nativas requerem menor manutenção e são mais aptas a fornecer o habitat necessário para animais locais (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

Em relação às pesquisas sobre vegetações em coberturas, os autores do livro *Green Roofs Plants - A Resource and Planting Guide*, declaram que mesmo atualmente, não se tem estabelecido uma lista padrão de plantas recomendadas para utilização em coberturas verdes. Mesmo com muitas décadas de estudos desenvolvidos, em diversos países da Europa, é fundamental que cada localidade construa sua própria experiência baseando-se nas condições peculiares em que se encontram (DUNNETT, 2007).

De acordo com Johnston e Newton (2004), foram propostas algumas diretrizes para o direcionamento na escolha das vegetações, em sistemas de cobertura verde com característica “leve”. Nesse sentido, as plantas devem ter:

- Baixo crescimento, geralmente menor que 0.60m;
- Raízes com desenvolvimento horizontal e que se estabeleçam de maneira resistente no substrato;
- Capacidade de regeneração após longos períodos de secas ou chuvas intensas;
- Rápido crescimento;
- Tolerância a solos com espessuras estreitas e pobres em nutrientes;
- Resistência aos raios solares por longos períodos.

Segundo Minke (2003), as espécies vegetais podem ser plantadas na cobertura de diversas maneiras. No quadro 03 podem-se observar as diferentes formas de plantio a partir de sementes, estacas, grama em rolo, vegetação armada e “panos” gramados.

SEMENTES
<ul style="list-style-type: none">▪ As sementes de vegetação nativa têm geralmente pouca capacidade de germinação, mas em contrapartida são bastante resistentes. Plantadas a seco, necessitam geralmente de 4g a 8g de semente por m². Já as sementes semeadas em meios aquosos necessitam em média 2g por m².
ESTACAS
<ul style="list-style-type: none">▪ Para cultivar com o caule das plantas, necessita-se de mais ou menos 40 brotos por m². As suculentas são um exemplo de plantas com cultivo por caules. Sua colocação no substrato é facilmente realizada e, além disso, suportam longos períodos de seca.
GRAMA EM ROLO
<ul style="list-style-type: none">▪ De fácil manuseio e bem difundida existem empresas em muitos países que produzem gramados em rolos. Tanto na Alemanha quanto no Brasil, o tamanho médio é de 0,50m x 1,00m e a espessura do substrato tem aproximadamente 20mm.
VEGETAÇÃO ARMADA
<ul style="list-style-type: none">▪ As mantas de vegetação podem ser armadas com feltro, redes ou malhas finas e trançadas. Contêm segundo exigências, diferentes mesclas de musgos, suculentas e gramíneas. A espessura do substrato varia de 15mm a 35mm, com dimensões máximas de 1,00m x 1,00m.
“PANOS” GRAMADOS
<ul style="list-style-type: none">▪ Trata-se de vegetações bem enraizadas, em “panos” gramados com espessura de 50mm a 80mm. Pode-se apoiar uma camada em cima da outra, sem que escorreguem, com indicações para coberturas de forte declividade.

Quadro 03: Diferentes formas de ajardinar uma cobertura verde
Fonte: Minke (2003)

De acordo com uma pesquisa desenvolvida pelo CEFET, na cidade do Rio de Janeiro-RJ em parceria com instituições alemãs (*Cologne University of Applied Sciences e Fachhochschule Neubrandenburg*), realizou-se um estudo sobre a utilização de plantas em coberturas, nas cidades de clima tropical. A partir de uma relação de espécies vegetais indicadas por especialistas na área de botânica e paisagismo, foram plantadas mudas em canteiros pilotos, expostas às intempéries e sem qualquer tipo de manutenção. Os critérios para escolha das espécies vegetais levaram em consideração: 1) resistência ao alto nível de radiação solar, secas

prolongadas e chuvas torrenciais; 2) tamanho e desenvolvimento de raízes; 3) plantas que não soltam muitas folhas; 4) tempo de crescimento das vegetações; 5) adaptação a substratos estreitos e pobres em nutrientes; 6) plantas que não servem de abrigo a animais nocivos ao homem; e 7) plantas com grande superfície foliar. No quadro 04 estão descritas as vegetações utilizadas no experimento, com referência ao nome científico e popular (LAAR et al., 2001).

NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR
1. <i>Portulaca grandiflora</i>	1. Onze horas
2. <i>Setcreasea purpúrea</i>	2. Coração roxo
3. <i>Rhoeo discolor</i>	3. Abacaxi roxo
4. <i>Wedelia paludosa</i>	4. Mal-me-quer
5. <i>Zebrina purpusii</i>	5. Lambari roxo
6. <i>Bulbine caulescens</i>	6. Bulbine
7. <i>Liriope muscari</i>	7. Barba-de-serpente
8. <i>Asparagus sprengeri</i>	8. Aspargo pendente
9. <i>Pilea microphylla</i>	9. Brilhantina
10. <i>Senecio confusus</i>	10. Margaridão
11. <i>Pedilanthus tithymaloides</i>	11. Sapatinho de judeu

Quadro 04: Descrição de espécies vegetais analisadas segundo pesquisa realizada na cidade do Rio de Janeiro-RJ sobre a utilização de plantas em coberturas de edificações
 Fonte: Laar et al. (2001)

Como resultado do experimento, observou-se que as *Wedelias* não resistiram e morreram, a *Bulbine* e a *Setcreasea* floriram, as flores da *Portulaca* não abriram (mas a planta apresentava bom estado), os *Asparagus* apresentaram bulbos e as demais espécies tinham um bom aspecto (LAAR et al., 2001).

Emilsson e Rolf (2005) realizaram uma pesquisa no ano 2000, para comparar o estabelecimento de diferentes métodos na construção de coberturas verdes, de baixo peso próprio, no sul da Suécia. Em relação aos estudos sobre vegetações,

foram utilizados três tipos de combinações, com diversas espécies de suculentas misturadas. A primeira combinação é utilizada amplamente em coberturas verdes na Suécia, a segunda foi criada para as condições mais nórdicas do país e a terceira foi uma combinação de plantas com grandes folhagens e intensa floração. Para tanto, a relação de todas as espécies analisadas foram:

- *Sedum acre*
- *Sedum álbum*
- *Sedum rupestre*
- *Sedum sexangulare*
- *Hylotelephium ewrsii*
- *Phedimus floriferus*
- *Phedimus hybridus*
- *Phedimus kamtschaticus*
- *Phedimus spurius*

A camada de vegetação e de substrato possuía uma espessura de 40mm, e além das três combinações de variedades vegetais foram testadas, também, três maneiras de plantio dessas espécies, sendo elas: esteira com plantas, bandejas com mudas e plantio por brotos. Como resultado da pesquisa, obteve-se mais de 80% de cobertura vegetal nas esteiras com plantas, para todas as três combinações vegetais realizadas. No entanto, para as outras duas formas de plantio (bandejas com mudas e plantio por brotos) não houve uma variação significativa, ficando entre 50% a 60% de cobertura vegetal. O estudo também concluiu que a variável mais relevante para melhor cobertura de espécies vegetais é o estabelecimento do método de plantio (EMILSSON; ROLF, 2005).

De acordo com estudos realizados para avaliar as variáveis que influenciam no comportamento térmico das coberturas verdes, analisou-se que um dos principais parâmetros em relação às vegetações está relacionado à densidade das folhagens. Quanto mais densa, maior a evapotranspiração e o sombreamento (devido a uma menor incidência da radiação solar na superfície do substrato). Já a altura das

folhagens, somente, não é relevante, seu comportamento é significativo em conjunto com folhas mais densas (THEODOSIOU, 2003).

Segundo Del Barrio (1998), para análise da camada de plantas levou-se em consideração um conjunto de parâmetros, tais como: 1) absorção de radiação pelas folhas; 2) radiação de ondas longas (calor) entre folhas e superfície do solo e folhas e folhas; 3) estabelecimento da convecção⁶ entre as folhas e o ar da cobertura vegetal, cobertura vegetal e superfície do solo; 4) evapotranspiração em três processos, evaporação da água de dentro das folhas, difusão do vapor pela superfície foliar e convecção do vapor das folhas com o ar; 5) evaporação e condensação do vapor de água na superfície do solo e convecção entre superfície do solo e ar; 6) convecção de calor e transferência de vapor entre o ar da camada vegetal e o ar externo ao sistema de cobertura verde.

A partir do estudo destas variáveis, concluiu-se que a evapotranspiração das folhagens e as trocas de ar entre a camada vegetal e o ar externo ao sistema de cobertura verde possui um papel fundamental para o estado higrotérmico das plantas. A importância da vegetação, neste sentido, está relacionada à largura e à distribuição horizontal das folhas, proporcionando um maior sombreamento, ou seja, uma baixa transmissão da radiação solar na superfície do substrato (DEL BARRIO, 1998).

3.4.2 Substrato

Conforme Liu e Baskaran (2003), o substrato serve de suporte para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Sua composição e espessura

⁶ Ver definição na página 76.

dependem da vegetação selecionada e podem variar de 0.05m, até um pouco mais do que 1.00m de altura (THEODOSIOU, 2003).

A estrutura da edificação tem que suportar o peso do solo saturado de água, no entanto, para atenuar a carga estrutural nas edificações, existem os substratos com formações mais leves (LIU; BASKARAN, 2003).

A composição dos solos caracteriza-se, também, pela porosidade e com a distinção de três fases: sólida (minerais e matérias orgânicas), líquida (água) e gasosa (ar e vapor de água). Qualitativamente, pode-se dizer que no solo insaturado o calor é transportado por essas três fases. Os respectivos mecanismos são: condução nas fases sólidas e líquidas, convecção em fases líquidas e gasosas e transferência de calor latente⁷ por difusão de vapor nos poros. O calor transferido, sempre depende da quantidade de água e da temperatura do ar, o que leva a uma dependência mútua e contínua na redistribuição de calor e umidade. A espessura da camada, sua densidade e seu índice de umidade determinam as difusões térmicas do solo, que aumentam com a densidade e diminuem com o índice de umidade (DEL BARRIO, 1998).

Segundo Theodosiou (2003), o principal efeito relacionado com a espessura do substrato é em relação à inércia térmica do solo, onde há um atraso e uma atenuação no fluxo de calor recebido externamente pela radiação solar. Assim, quanto maior a espessura do substrato, maior a inércia térmica e menor o fluxo de calor, tanto de fora para dentro, quanto de dentro para fora.

De acordo com Minke (2003), o solo não deve ser muito argiloso, uma medida recomendável é de 20% no total de argila e de 25% a 75% para materiais leves, com granulometria que vai até 16mm.

⁷ Ver definição na página 75.

Na pesquisa de Emilsson e Rolf (2005) realizaram-se duas diferentes composições de substratos para análise, contendo argila (5%), pedra calcário triturada (5%), cacos de telhas cerâmicas (50% no substrato A e 43% no substrato B), terra (37%) e material orgânico (3% no substrato A e 10% no substrato B). Em relação às quantidades de cada componente, nota-se que o material orgânico foi o único com diferença de concentração significativa do substrato A para o substrato B. Como resultado, observou-se que os materiais orgânicos nos dois substratos foram completamente decompostos durante o primeiro ano de experimento.

3.4.3 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem tem como princípio dirigir e armazenar parte do fluxo de água pluvial excedente (MINKE, 2003). O que não foi absorvido pelo substrato, usado pelas plantas ou armazenado em cisternas, deve ser efetivamente drenado do sistema de cobertura verde. Falhas no sistema de drenagem proporcionam o apodrecimento das raízes, além de conferir mais peso à cobertura. Um típico sistema de drenagem apresenta: filtro (para prevenir erosões do substrato e não obstruir o sistema de drenagem), drenos, uma calha e por fim, um canal para escoamento da água (DALEY, 2006).

A camada drenante cobre toda a superfície da cobertura e pode constituir-se de sistemas pré-fabricados, como mantas de baixo peso, que direcionam bem o fluxo da água das chuvas, além de já possuírem filtros, feitos de não-tecidos, em sua estrutura (OBERLANDER; WHITELAW; MATSUZAKI, 2002).

Outra opção é a utilização de resíduos de demolição triturados como, pedras, tijolos e concreto, por consistir em alternativa viável para implementação como

sistema de drenagem em meio ao substrato, na cobertura verde. Além disso, apresentam benefícios na escala ambiental, pois incluem reaproveitamento de materiais e reduzem a necessidade de transporte e disposição final dos resíduos da construção (GREEN ..., 2006).

3.4.4 Impermeabilização e membrana anti-raiz

A camada mais importante e dispendiosa de uma cobertura verde é a impermeabilização, pois previne as coberturas da infiltração das águas pluviais e da perfuração por raízes de plantas. Há uma grande diversidade de membranas a prova de água comercialmente disponíveis, variando entre as pesadas mantas de desenrolar e os produtos líquidos de fácil aplicação (MARTIN, 2005).

Segundo Minke (2003), pesquisas sobre impermeabilização em coberturas verdes realizadas com betume comprovam que é indispensável uma camada adicional, para proteção contra perfuração por raízes. Ressalta-se que a membrana de impermeabilização foi atravessada por raízes de distintas plantas, devido a alguns microrganismos que vivem em suas extremidades terem propriedades para dissolver materiais betuminosos. As figuras 10 e 11 evidenciam a perfuração por raízes em membranas com material betuminoso e, também, em PVC, respectivamente.

Figura 10 e 11: Perfuração por raízes em superfície impermeabilizada com betume e PVC, respectivamente
Fonte: Minke (2003)

3.4.5 Suporte estrutural

Antes de projetar e construir um jardim na cobertura de edificações existentes, um profissional da área deve ser solicitado para realizar a análise estrutural. Assim, determina-se o tipo de cobertura verde que poderá ser construída. No entanto, novos edifícios podem ser projetados com capacidade estrutural adequada para implementação de qualquer forma de ajardinamento nas superfícies das coberturas (DALEY, 2006).

Para o dimensionamento estrutural da cobertura verde deve-se levar em conta alguns fatores como: cargas permanentes, peso total da cobertura, substrato em estado de saturação de água e, também, o peso da vegetação. Outro fator importante é não ultrapassar o valor admissível das cargas concentradas, seja por transportes de pesos ou por armazenagem de materiais sobre a cobertura, no período de construção (MINKE, 2003).

3.5 Os benefícios

3.5.1 Aumento das áreas verdes nas cidades

O ambiente urbano nos dias de hoje apresenta um constante crescimento e desenvolvimento tecnológico, onde cada vez mais se têm pessoas vivendo em cidades com superfícies impermeáveis. A escassez de espaços permeáveis exige uma resposta alternativa e viável, como o uso das coberturas verdes em edificações, ajudando a compensar as áreas verdes que estão cada dia mais se extinguindo nos grandes centros urbanos (OBERLANDER; WHITELAW; MATSUZAKI, 2002).

Segundo Levallius (2005), as coberturas com vegetação oferecem a vantagem de utilizar a superfície livre das coberturas nas edificações, mitigando ao mesmo tempo alguns problemas urbanos.

Os espaços verdes fornecem um dos mais notáveis contrapontos do desenvolvimento urbano. Em jardins, quintais e crescentemente nas coberturas das edificações, plantas oferecem “natureza”, essencial às cidades (KANE, 2004).

Com o aumento das áreas verdes, as vegetações nas coberturas absorvem como todas as plantas, gás carbônico (CO_2) do ar e liberam oxigênio (O_2). Isso acontece no processo de fotossíntese (transformação de energia luminosa em energia química), onde seis moléculas de gás carbônico (CO_2) e seis moléculas de água (H_2O), mediante a um consumo de 2,83KJ, produzem uma molécula de glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) e seis moléculas de oxigênio (O_2). As folhas verdes sobre a cobertura aumentam a produção de oxigênio (O_2) e o consumo de gás carbônico (CO_2). Se existe um equilíbrio entre crescimento e morte das partes vegetais, sempre existirá a vantagem de se extrair gás carbônico (CO_2) do ar, que posteriormente será armazenado no interior das plantas (MINKE, 2003).

Outra função que as plantas conferem é a capacidade de aderir em sua superfície foliar partículas nocivas à saúde, que se encontram na forma de gases e aerossóis em suspensão no ar. Estes por sua vez, são arrastados depois pela chuva ao solo, atenuando assim a concentração dessas partículas poluentes e também de fuligens no ambiente (BASS; BASKARAN, 2001; MINKE, 2003 e ACKERMAN, 2006).

São vários os benefícios que as áreas verdes proporcionam, tais como: a função ecológica, a função estética, o suporte à biodiversidade, ajudando na saúde mental e física dos indivíduos, além de fornecer referências subjetivas e espaços coletivos ao lugar. Em Birmingham (Inglaterra), o governo lançou subseqüentemente diversas políticas e iniciativas públicas, para financiar e promover novos projetos de áreas verdes na cidade e, também, para a manutenção dos espaços verdes já existentes (GREEN..., 2004).

As áreas ajardinadas propiciam lugares acolhedores, onde as pessoas conseguem esquecer das atribulações do dia a dia, contemplando o crescimento e a continuidade. Na capital da França (Paris), há também uma grande preocupação em aumentar as áreas verdes na cidade, pois, segundo declaração do prefeito Bertrand Delanoë, “recuperar o espaço para que uma cidade possa respirar, faz parte dos desafios da civilização urbana atual” (ACKERMAN, 2006).

3.5.2 Regulação da temperatura

O ser humano é um ser homeotérmico, isto é, possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de certo intervalo pré-determinado, apesar das

variações térmicas do meio ambiente (homeostasia térmica). A temperatura de equilíbrio da região corporal central varia entre 36°C a 37°C e é menor pela manhã, aumenta ao longo do dia e adquire máximos valores pelo início da noite. O equilíbrio térmico acontece através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor. A temperatura da pele⁸, contrariamente ao que acontece nas regiões corporais internas (região corporal central), têm maior variação de amplitude térmica. O tecido celular adiposo tem função isolante natural (baixa condução de calor) e separa a pele (região mais sensível às variações térmicas externas) da região corporal central (temperatura mais estável). O fluxo sanguíneo cutâneo é que estabelece a ligação entre a pele e a região corporal central (MAGALHÃES et al., 2002).

As condições ambientais para uma melhor adequação térmica são aquelas que minimizam o esforço psicológico, para regulação da temperatura interna do corpo. Algumas doenças (como problemas no coração) e o inevitável processo da velhice podem reduzir a capacidade ou habilidade do sistema psicológico de balancear as perdas de calor. Certos aspectos da saúde, em relação a doenças específicas, apresentam uma grande base psicológica diretamente ligada às temperaturas externas. No entanto, os efeitos das temperaturas externas não podem ser considerados de forma separada das temperaturas internas da edificação (ASHRAE, 1993).

Segundo Rivero (1985), quando o meio externo não apresenta condições térmicas adequadas, o organismo humano utiliza os mecanismos termorreguladores de forma perceptível. A termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle das perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e,

⁸ O valor normal da temperatura da pele varia entre 31°C a 34°C (KOENIGSBERGER et al., 1980).

consequentemente, uma queda na potencialidade de trabalho (FROTA; SCHIFFER, 1988).

À medida que o estresse térmico se eleva, pode suscitar mal estar psicológico, diminuição da capacidade de trabalho, transtornos fisiológicos, fadiga cerebral, desidratação, diminuição da coordenação sensorial e motriz, incidência de doenças cardiovasculares e perturbações gastrointestinais (TALAIA, 2007).

As edificações em geral estão sujeitas às perdas e aos ganhos térmicos através de seus fechamentos. A envolvente é a responsável em manter estáveis os níveis de temperatura e de umidade do ar, dentro das margens admissíveis pelo corpo humano. Nesse sentido, a cobertura é a parte das edificações térreas que está sujeita às maiores flutuações térmicas, pois durante o dia alcança elevadas temperaturas superficiais internas, devido a sua exposição direta à radiação solar e durante a noite é a parte das envolventes opacas que mais calor perde por radiação, para a abóbada celeste (MACHADO; BRITO; NEILA, 2003 e GIVONI, 1976).

De acordo com Theodosiou (2003), as coberturas verdes contribuem, portanto, para a regulação térmica nos ambientes internos das edificações, mesmo em dias com extremas temperaturas externas do ar, tanto para o frio quanto para o calor.

A atenuação térmica propiciada por uma cobertura verde é baseada nas diferentes camadas que reduzem a passagem da radiação solar. Este efeito isolante não é constante, depende das variáveis que influenciam na proteção térmica, como os fatores de transferência de calor, o índice de água nas camadas do sistema construtivo e a velocidade dos ventos (PORSCHKE; KÖHLER, 2003).

A combinação dos mecanismos realizados pelas plantas, tais como fotossíntese e evapotranspiração, juntamente com os processos estabelecidos no

substrato, também ajudam a minimizar a quantidade de calor recebida pela superfície do sistema de cobertura verde, conduzindo a temperaturas mais amenas no interior das edificações (GREEN..., 2004).

Segundo pesquisa realizada na Alemanha, comprovou-se que para temperaturas do ar externo com valor de 30°C, a temperatura no substrato da cobertura verde não ficou acima dos 25°C. A atenuação térmica proporcionada no verão pelas coberturas verdes é ainda mais evidente do que o efeito da isolamento térmica no inverno (MINKE, 2003).

3.5.3 Maior vida útil

O sistema da cobertura verde ajuda a proteger a superfície estrutural de apoio, das flutuações da temperatura do ar externo e do impacto das radiações solares. Estudos na comunidade europeia indicam que as coberturas verdes possuem facilmente o dobro de vida útil em comparação a um telhado convencional. Este fator é uma economia direta em custos como trocas, reparos e manutenções, para o proprietário do edifício (PECK; KUHN, 2006).

Em 2000, na cidade de Multnomah (Estado de Oregon - EUA), foi realizado um projeto de cobertura verde com incentivo do Departamento de Serviços Ambientais de Portland, a partir de uma avaliação entre diferentes sistemas construtivos para coberturas. Dentre todos os sistemas analisados a cobertura com vegetação foi escolhida, principalmente, por sua longevidade, seu custo-benefício e suas vantagens ambientais (MULTNOMAH..., 2003).

As coberturas tradicionais possuem um custo menor para sua instalação, comparadas ao sistema de coberturas verdes, mas depois de 15 anos necessitam de reposição (VUJOVIC; OGUREK 2005). Embora as coberturas verdes atuais não tenham mais de 35 anos de duração, pesquisadores e profissionais da área estimam uma vida útil de 50 anos, para esse sistema construtivo (PORSCHKE; KOHLER, 2003).

3.5.4 Proteção contra incêndio

A indústria européia afirma que as coberturas verdes podem ajudar a não propagação do fogo nas edificações. Entretanto, as plantas secas, podem apresentar perigo de fogo. Uma alternativa para minimizar a possibilidade dos incêndios seria colocar materiais que não entram em combustão, ao longo do perímetro da cobertura, como pedras e cascalhos. Outra opção seria o uso de plantas que retardem a atuação do fogo, como as suculentas, que têm alto índice de água em seu interior (PECK; KUHN, 2006).

Segundo Breuning (2007), no ano de 1988, na cidade de Stuttgart (Alemanha) diversos profissionais, bem como oficiais da cidade, do estado e do país, desenvolveram um amplo programa de pesquisa sobre incêndios realizado pelo laboratório de pesquisas e testes em materiais de Baden-Württemberg (*Research and material testing laboratory of Baden-Württemberg*). Depois da realização de uma ampla escala de testes, o resultado dos experimentos foi um só: o risco de pegar fogo em uma cobertura verde é de 15 a 20 vezes menor do que nos telhados convencionais. Hoje na Alemanha existem inúmeras coberturas verdes e nenhum relato de incêndio nesses sistemas construtivos. Normalmente a pessoa que faz um

seguro contra incêndio recebe um desconto de 10% a 20%, quando possui uma cobertura com vegetação em sua edificação.

3.5.5 Retenção das águas pluviais

Nas regiões tropicais, o ritmo das cheias se relaciona, com o volume e o tempo de duração das grandes chuvas de verão. Cidades inteiras, em suas faixas ribeirinhas, recebem as interferências das inundações nos verões chuvosos, principal época das precipitações. Quanto mais se desenvolve o organismo urbano, em conjunto com as superfícies dos solos impermeabilizados, mais rápido se torna o escoamento superficial, maior o volume das águas nos rios e mais desastrosas e imediatas às interferências das inundações sobre a funcionalidade urbana. Não tendo previsto, o aumento de volume e a rapidez dos processos de inundações das planícies aluviais incorporadas ao espaço urbano, grandes cidades recebem o impacto das chuvas e dos transbordamentos dos rios que as seccionam. Interrompe-se o tráfego nas vias marginais e avenidas em fundo de vales. Multiplicam-se as pequenas vias de circulação interna e quebra-se a continuidade das relações, entre as vias de circulação externa e interna. A somatória dos pontos críticos consegue interferir drasticamente na funcionalidade do organismo urbano. Se os rios são poluídos, piores as conseqüências para a saúde pública e mais insistentes e agressivas as reclamações (AB´ SÁBER, 2006).

Uma variedade de práticas para administração dos efeitos ocasionados pelas fortes chuvas (associadas a um alterado sistema hidrológico nas áreas urbanas), existe no combate à degradação ambiental. Nesse sentido, os sistemas de coberturas verdes em edificações estão emergindo como um instrumento que

contribui para o melhor funcionamento do sistema de drenagem urbana (CARTER; JACKSON, 2006).

De acordo com Cunha (2004), no sistema de coberturas verdes, parte da água precipitada é incorporada ao substrato, parte é evapotranspirada e o excesso escoar para o sistema de drenagem municipal. Na cobertura tradicional, uma maior quantidade de água escoar diretamente para as galerias pluviais, ocasionando assim, um grande fluxo no sistema e, conseqüentemente, inundações no ambiente urbano (Figura 12). Nesse sentido, as coberturas verdes ajudam a retardar o fluxo das águas pluviais e reduzem a freqüência dos eventos de inundações, que é um problema de extrema relevância nas cidades.

Figura 12: Escoamento pluvial em uma cobertura verde e em um telhado convencional, respectivamente
Fonte: Cunha (2004)

Durante as últimas duas décadas, diversas pesquisas foram publicadas na Alemanha, analisando a redução do fluxo das águas das chuvas em diferentes tipos de coberturas verdes. A relação da precipitação com a quantidade de água pluvial

retida na cobertura está diretamente ligada à espessura do substrato (MENTENS; RAES; HERMY, 2005).

Na cidade de Mineápolis (EUA), houve uma iniciativa governamental para o reconhecimento das coberturas verdes como a melhor prática na administração dos efeitos das fortes precipitações e, além disso, ressaltou-se como esses sistemas construtivos podem contribuir com paisagem urbana para novos e redirecionados projetos (PECK, 2007).

Segundo Velazquez (2006), o fluxo das águas pluviais retidas nas coberturas verdes varia de 50% a 95%. No entanto, estudos desenvolvidos no Estado da Pensilvânia (EUA) mostraram que as coberturas verdes chegam a armazenar 74% das águas de chuva em seu ápice (TILLINGER et al., 2006).

3.5.6 Efeitos estéticos e sociais

As coberturas verdes têm o potencial de mudar o ambiente urbano, onde o papel da natureza, nesse contexto, é inspirar comportamentos com premissas sustentáveis e ações em direção às interações homem-natureza (ROSENZWEIG; GAFFI; PARSHALL, 2006).

É notável, o efeito que produz uma cobertura com plantas em sua superfície, se comparado a um telhado convencional. A beleza natural da vegetação traz bem estar ao “espírito” humano. Trata-se de uma percepção subjetiva, que permite sua contemplação, além de trocas de plantas e de experiências entre os moradores (MINKE, 2003).

Conforme pesquisa do Laboratório de Paisagem e Saúde Humana, da Universidade de Illinois (EUA), sobre a relação do bem estar social e psicológico que as áreas verdes propiciam, concluiu-se que indivíduos que possuem espaços verdes próximos a suas residências têm um espírito comunitário mais acentuado, suportam melhor o estresse e as dificuldades do cotidiano. Quanto mais verde o lugar, menor o índice de crimes contra a pessoa e a propriedade, e também menos lixo e pichações. Há indícios, também, que as áreas verdes têm efeito restaurador sobre a atenção voluntária dos indivíduos, que está relacionada com o tipo de concentração intensa, necessária para trabalhar ou estudar. Ela determina a qualidade do raciocínio e o modo de lidar com situações difíceis. O contato com a natureza permite contemplação e trocas subjetivas com os estímulos sensitivos do meio (ACKERMAN, 2006).

3.5.7 Melhora na eficiência energética

A racionalização do uso da energia apresenta estreitos laços com a adequação das edificações e dos espaços urbanos ao clima e ao ambiente, evitando ou reduzindo a utilização dos sistemas de condicionamento artificial de ar, quer com a finalidade de refrigerar, quer com a de aquecer os ambientes. Os controles térmicos naturais propiciam a redução do excesso de calor ou de frio resultante no interior dos edifícios, minimizando, por vezes, os efeitos das temperaturas excessivas (FROTA; SCHIFFER, 1988).

Recentes pesquisas realizadas no Canadá chegaram à conclusão de que as coberturas verdes efetivamente reduzem a demanda de energia das edificações, tanto em climas quentes quanto em climas frios. O efeito de retardo térmico

proporcionado pelo sistema construtivo reduz a penetração de radiação solar e, também, ajuda a prolongar a vida útil da cobertura (LAWLOR, 2006). Em uma cobertura verde com 0.10m de substrato, estudos demonstram que esse sistema construtivo confere uma economia de 25% a 30% de energia (LIU; BASKARAN, 2003).

3.5.8 Contribuição à biodiversidade

Os insetos, pássaros e borboletas encontram nas áreas verdes alimento e habitat para manter sua espécie, bem como um meio para sustentar seus hábitos naturais. Os indivíduos contemplam esse contato mais próximo com a natureza, ao mesmo tempo em que obtêm qualidades essenciais nos espaços urbanos (GREEN INFRASTRUCTURE, 2005).

Segundo Burgess (2004), um dos primeiros pesquisadores a realizar um estudo detalhado sobre biodiversidade em coberturas verdes foi Stephan Brenneisen, no ano de 2001 na Suíça. A pesquisa de Brenneisen ajudou a influenciar no estabelecimento de coberturas verdes como parte integral no planejamento urbano do Reino Unido. Com referência a esse estudo, desenvolveu-se uma outra pesquisa sobre o potencial das coberturas verdes na conservação de pássaros, também no Reino Unido, e concluiu a relevante contribuição desse sistema de cobertura à biodiversidade. As duas coberturas estudadas nesse projeto tinham tamanhos e posições diferentes e não foram instaladas especificamente para beneficiar pássaros. Assim, o autor afirma que trazer um elemento natural ao

ambiente urbano é um grande benefício, não apenas aos pássaros, mas a outros animais e aos seres humanos.

A diversidade vegetal fornece um mosaico de micro-habitantes na cobertura verde, aumentando assim a biodiversidade relativa à flora e fauna. Para tanto, coberturas verdes com plantio uniforme de espécies vegetais proporcionam em menor escala essa variedade, devido ao estabelecimento de monoculturas uniformes, como as “mantas” de suculentas, amplamente utilizadas na Europa (GEDGE; KADAS, 2005).

A partir de análises estatísticas, chegou-se a conclusão de que a diversidade das espécies vegetais encontradas nas coberturas está diretamente relacionada à idade da cobertura, à profundidade do substrato e a composição da sua estrutura. Em Londres, as coberturas verdes estão fornecendo um habitat útil e atraente para invertebrados e outros animais. Assim, diversas espécies encontradas, comuns e pouco comuns ao meio urbano, beneficiam-se do peculiar espaço que as coberturas com vegetações fornecem, tirando partido de um novo nicho não disponível em outros lugares da cidade (JONES, 2002).

Ecólogos em muitos países avaliam as estruturas das coberturas verdes e suas interações com o ambiente como suporte à vida de plantas e de animais. Desse modo, fornecem uma valiosa fonte de informações para pesquisadores e profissionais da área. Contribuem com a interação entre profissões e asseguram que os avanços tecnológicos estejam incorporados à futuros projetos, estabelecendo parâmetros para construção de coberturas verdes mais adequadas à biodiversidade (GEDGE; KADAS, 2005).

3.5.9 Atenuação das ilhas de calor

Nas últimas décadas, as áreas verdes na paisagem urbana diminuíram em meio ao crescimento das avenidas e dos edifícios. Um dos efeitos desse crescimento foi o aumento da poluição do ar, bem como o aumento na média dos valores das temperaturas encontradas no ambiente construído (LAZZARIN; CASTELLOTTI; BUSATO, 2005).

A configuração urbana não apresenta, necessariamente, as mesmas condições climáticas relativas ao macroclima regional no qual está inserida. Estas alterações, nos valores das temperaturas, estão diretamente relacionadas com o tamanho e as atividades desenvolvidas nos setores predominantes do núcleo urbano. Portanto, significativas alterações microclimáticas nas grandes cidades podem resultar em verdadeiras ilhas de calor (FROTA; SCHIFFER, 1988).

Pavimentação, telhados e outras superfícies escuras absorvem a radiação solar e reirradiam parte desse o calor. O predomínio dessas superfícies no ambiente urbano contribui com o aumento da temperatura do ar no verão de 6°C a 10°C. As altas temperaturas em confluência com partículas suspensas no ar tem como resultado uma densa camada de poluição, prejudicando tanto o ambiente como a saúde humana. No entanto, o uso de coberturas com vegetação ajuda a amenizar a temperatura do ar através de uma menor absorção da radiação solar e, também, pela regulação da umidade, resultado da evapotranspiração das plantas (HENDERSON, 2003).

As coberturas verdes diminuem consideravelmente o aquecimento em suas superfícies. Assim, partículas em suspensão, antes impulsionadas à atmosfera

formando capas de gases poluentes, são reduzidas em grandes proporções (MINKE, 2003).

3.6 Ações de fomento

Qualidade do ar, da água, do solo, da biodiversidade, bem como de outras variáveis do cenário natural são recursos insubstituíveis para uma melhor qualidade de vida. A arquitetura nem sempre se adequa a essas referências de extrema relevância, que contribuem tanto para obtenção de benefícios particulares, quanto para benefícios coletivos na escala urbana. Em algumas cidades da Europa e América do Norte, autoridades locais e conselhos das cidades começaram a incentivar projetos de coberturas verdes para compensação da exploração crescente dos recursos naturais. Os incentivos financeiros diretos, a redução de impostos, redução de taxas para gerenciamento das águas pluviais e medidas compensatórias para uso e ocupação do solo são algumas das políticas que podem ser usadas para incentivar e promover a expansão do mercado das coberturas verdes (INTERNATIONAL..., 2006).

Segundo o Manual de Recursos e Infra-estrutura em Coberturas Verdes para realização de Políticas Municipais (*Resource Manual on Green Roof Infrastructure for Municipal Policy Makers*), diversas municipalidades são líderes em desenvolver políticas públicas para coberturas verdes (MAKING GREEN..., 2005).

Na Alemanha, França, Áustria, Noruega, Suíça e em outros países europeus, as coberturas verdes transformaram-se em um sistema construtivo aceito no mercado e uma característica bem-vinda a paisagem urbana. O desenvolvimento

das coberturas verdes, nesses países, deve-se ao resultado direto das políticas públicas e dos programas de incentivos governamentais adotados. Nesse sentido, uma nova indústria foi criada para fornecer materiais, plantas, projetos, mão de obra e grupos de manutenção, denominando-se “a indústria verde do telhado” (PECK et al., 1999).

Os quadros 05 e 06 apresentam dois estudos de caso sobre a implementação de políticas públicas, uma na América do Norte e outra na Europa, respectivamente.

Portland (Oregon – EUA)

A cidade promove o desenvolvimento das coberturas verdes com algumas políticas, mas requer obrigatoriedade somente em edifícios públicos. Há aproximadamente 4000 m² de coberturas verdes construídas e a mesma quantidade por construir. É considerada uma das cidades nos Estados Unidos que mais promove o desenvolvimento deste sistema construtivo. Referente à legislação tem-se:

- Todos os edifícios novos devem ser construídos com uma cobertura verde que cubra ao menos 70% de sua área total. No restante da cobertura devem-se colocar coletores de energia solar. Todas as trocas ou reposições nas coberturas devem também incluir uma cobertura verde. A cidade possui consultores específicos para ajudar em reuniões para discussão dos objetivos das políticas.
- O código de zoneamento da cidade oferece bônus para construções de coberturas verdes, e quanto maior a área, maior o bônus. O proprietário deve assinar um acordo assegurando a manutenção apropriada da cobertura.
- A cidade possui uma grande demanda na melhora da administração dos efeitos prejudiciais das tempestades para reparos comerciais, industriais, e institucionais, que são baseados na quantidade de áreas impermeabilizadas.
- Os projetos arquitetônicos a serem desenvolvidos passam por uma revisão e posterior aprovação. Uma cobertura verde especificada no projeto é considerada um recurso que ajudará na aprovação da proposta.
- Portland provê educação e práticas no desenvolvimento das coberturas verdes. Oferece assistência técnica aos donos das edificações e visitas monitoradas às edificações com coberturas verdes.
- A cidade financiou exposições e demonstrações das coberturas verdes em locais ainda de testes.

Portland (Oregon – EUA)

- As coberturas verdes são reconhecidas formalmente como uma das melhores práticas para a administração dos efeitos das tempestades na cidade.
- Um grupo de pessoas intituladas "Eco-telhados em toda parte" promove o desenvolvimento da cobertura verde em bairros de baixa renda. Desenvolvem projetos para demonstração, fixam concessões para desenvolvimentos em pequena escala e negociam preços acessíveis a sua implementação.

Quadro 05: Políticas públicas desenvolvidas na cidade de Portland (Oregon - EUA)
Fonte: Making green... (2005)

Basel (Suíça - Europa)

A motivação para o desenvolvimento das coberturas verdes na cidade de Basel, se deu, principalmente, em função dos benefícios relacionados com a economia de energia e, também, pelo aumento da biodiversidade. Na década de noventa haviam 135 patrocinadores para subsidiar 85000 m² de coberturas verdes, que proporcionariam uma economia energética de 4GW/ano. Como resultado dos novos regulamentos e renovações, 15% das coberturas foram vegetadas. Os regulamentos para coberturas verdes, em Basel, não encontraram nenhuma resistência significativa, porque, todas as partes interessadas foram envolvidas no processo desde o começo e, também, por causa do forte programa de incentivo a essas construções.

- No meio dos anos noventa, uma votação pública encontrou sustentação geral para que um imposto da eletricidade promovesse medidas que poupassem a energia. Após consultar as partes interessadas, Basel investiu os recursos provenientes dessas taxas de eletricidade em um programa de incentivo à construção das coberturas verdes durante dois anos.
- Desde 2002, os regulamentos para construção estipulam que as coberturas convencionais novas ou renovadas devem vegetar suas superfícies para fornecer um habitat valioso para a biodiversidade (principalmente dos invertebrados).
- Basel forneceu uma concessão para a pesquisa sobre os benefícios da proteção da biodiversidade nas coberturas verdes e com base nesses resultados é que deram forma a algumas especificações para projetos.
- Promoveu um concurso para avaliar a cobertura verde mais bonita da cidade.

Quadro 06: Políticas públicas desenvolvidas na cidade de Basel (Suíça - Europa)
Fonte: Making green... (2005)

As políticas a favor das coberturas verdes têm pretensões de elevar ao máximo os benefícios coletivos que esse sistema construtivo confere. Os benefícios coletivos são aqueles que visam à melhora do microclima local e a redução do fluxo intenso das águas pluviais nos sistemas de drenagens. Já em relação aos benefícios particulares, somente as vantagens diretas como: atenuação da temperatura do ar interno nas edificações e a parte estética da cobertura é que induzem os proprietários à construção das coberturas verdes. Diversas municipalidades canadenses estão interessadas em estabelecer políticas públicas e incentivos fiscais que ajudem a obter benefícios na escala urbana, aumentado também, práticas com premissas sustentáveis em edificações. Para isso, é importante que os três níveis do governo revisem sua legislação vigente e, posteriormente, introduzam uma nova política pautada em incentivos para construção das coberturas verdes (NGAN, 2004).

De acordo com Gregory e Long (2006), um dos obstáculos mais difíceis de contemplar é ter todas as partes responsáveis pela elaboração de uma política pública detalhada para coberturas verdes em comum acordo com sua administração, seu reforço, sua manutenção e decisões sobre os incentivos a serem adotados. Se não houver um consenso de como a política será estruturada e implementada, provavelmente os benefícios ambientais podem não ser contemplados integralmente. Outro aspecto igualmente importante é a participação da comunidade nas decisões políticas para melhor entendimento, representatividade e aprovação das futuras medidas a serem deliberadas.

Além das políticas públicas, outras iniciativas para o fomento das coberturas verdes também começam a surgir, como as conferências de Coberturas Verdes por Cidades Saudáveis (*Green Roofs for Healthy Cities*). Esta iniciativa foi desenvolvida

a princípio, por uma pequena rede de organizações públicas e privadas, fundada como resultado direto de um projeto de pesquisa sobre os benefícios das coberturas verdes e suas barreiras para o desenvolvimento industrial. O objetivo fundamental desta conferência foi aumentar a percepção econômica, social e ambiental relativa aos benefícios das coberturas verdes, além de comercializar produtos e serviços na América do Norte (GREEN ROOFS FOR HEALTHY..., 2005).

Na Universidade de Sheffield foi sediada, também, uma conferência sobre as coberturas verdes para apresentar os benefícios práticos desse sistema construtivo na Grã-Bretanha. O conteúdo da conferência abordava: 1) apresentação de estudos de casos (como incentivos para sua construção nas cidades da América do Norte e Europa); 2) discussão com especialistas sobre infra-estrutura, conservação de energia, atenuação das ilhas de calor, redução do fluxo pluvial, melhor custo-benefício, aumento da biodiversidade e conservação da natureza; 3) apresentação de políticas e de incentivos fiscais para implementação do sistema construtivo; 4) mostra de produtos, serviços e pesquisas desenvolvidas sobre as coberturas verdes (GREEN ROOF..., 2006).

No ano de 2002, grupos organizados realizaram um “*workshop*” em Vancouver, para identificar as maiores barreiras para o desenvolvimento das coberturas verdes na província de British Columbia (Canadá). A partir desse encontro foram levantadas algumas questões sobre as coberturas verdes, em relação à falta de dados específicos sobre seu desempenho térmico, ausência de experimentações e falta de demonstrações práticas. Assim, o Instituto de Tecnologias da British Columbia (*British Columbia Institute of Technology*), apoiado por um consórcio de organizações governamentais, associações industriais e fornecedores de materiais, criaram um centro para a promoção da tecnologia das

coberturas verdes. O princípio desse centro é trabalhar em conjunto com os fóruns de pesquisas, desenvolver uma rede regional de inventários sobre o desempenho das coberturas verdes, estabelecer um modelo para avaliação do sistema construtivo e sensibilizar a população através da educação e de demonstrações do funcionamento das coberturas verdes (CONNELLY; LIU, 2005).

De acordo com Johnston (2007), em resposta ao crescimento internacional e à demanda pela tecnologia das coberturas verdes foi inicialmente oficializado em Berlim (Alemanha), no ano de 2006, a Rede Mundial de Infra-estrutura para Coberturas Verdes (*The World Green Roof Infrastructure Network*). Essa rede apresenta algumas associações profissionais de coberturas verdes nos quatro continentes (Quadro 07).

The World Green Roof Infrastructure Network
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas</i> (México); ▪ <i>Association pour le Développement et l'Innovation de la Végétalisation Extensive des Toitures</i> (França); ▪ <i>Associazione Italiana Verde Pensile</i> (Itália); ▪ <i>Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbände</i> (Europa); ▪ <i>Fachvereinigung Bauwerksbegrünung</i> (Alemanha); ▪ <i>Green Roofs for Healthy Australian Cities</i> (Austrália); ▪ <i>Green Roofs for Healthy Cities</i> (América do Norte); ▪ <i>Green Roofs for Sustainable Cities</i> (Nova Zelândia); ▪ <i>Hochschule Wadenswil</i> (Suíça); ▪ <i>International Green Roof Association</i> (Internacional); ▪ <i>Livingroofs</i> (Reino Unido); ▪ <i>Scandinavian Green Roof Institute</i> (Suécia); ▪ <i>Zöldtetőépítők Országos Szövetsége</i> (Hungria).

Quadro 07: Membros da rede mundial de infra-estrutura para coberturas verdes
Fonte: Johnston (2007)

O objetivo maior dessa rede é promover o desenvolvimento das coberturas verdes e a pesquisa sobre sua infra-estrutura, política e implementação, em diversos países pelo mundo. Através de uma cooperação internacional, a rede possibilita o suporte à formação de uma indústria nacional de coberturas verdes e associações comerciais, contribuindo para uma melhor troca de informações e experiências sobre o assunto (JOHNSTON, 2007).

3.7 Estudos de caso

Diversos estudos estão sendo desenvolvidos sobre coberturas verdes no mundo. Estes estudos variam entre os de simulação computacional e os experimentais. Nesse sentido, serão apresentados alguns estudos de casos como referência ao que está sendo pesquisado e discutido de forma mais abrangente.

ANALYSIS OF THE GREEN ROOF THERMAL PROPERTIES AND INVESTIGATION OF ITS ENERGY PERFORMANCE		
Autores: Niachou, Papakonstantinou, Santamouris, Tsangrassoulis e Mihalakakou.	Ano: 2001	Local: Loutraki - Grécia
Introdução		
<p>O desempenho energético das coberturas verdes e de suas propriedades térmicas é um assunto que vários cientistas têm conduzidos em suas pesquisas nos últimos anos.</p> <p>Boas proteções térmicas podem reduzir a excessiva perda ou ganho de calor que as construções suportam, durante o período de inverno ou de verão. Plantar na cobertura das edificações oferece essa proteção e as coberturas com vegetação proporcionam benefícios tanto quantitativos, quanto qualitativos.</p>		

Introdução
<p>O processo de transferência de calor para o interior dos ambientes com coberturas ajardinadas, comparado às coberturas convencionais, sofrem uma atenuação térmica, pois a radiação solar, a temperatura e a umidade relativa do ar são reduzidas quando passam pelas folhagens que cobrem a cobertura.</p>
Objetivos
<ul style="list-style-type: none">▪ Apresentar resultados no que diz respeito ao microclima do ambiente interno e externo das edificações que possuam coberturas verdes;▪ Avaliar propriedades térmicas por meio de métodos matemáticos e experimentais;▪ Estimar o impacto total da eficiência energética das edificações com coberturas verdes.
Materiais e Métodos
<p>A pesquisa foi realizada no verão de 2000, em um hotel situado na cidade de Loutraki, Grécia. Durante a fase experimental do estudo foram feitas medições da temperatura, em superfícies do ambiente interno e externo da edificação com cobertura verde, bem como nos edifícios próximos sem cobertura verde. Os equipamentos para realização das medições consistiram em:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Uma câmera de termógrafo infravermelho para ilustrar a temperatura superficial;▪ Um termômetro infravermelho para medições da temperatura interna e externa da superfície das edificações;▪ Um termômetro - psicrômetro para medir a temperatura do ar interno, temperatura do ar externo e, também, a umidade relativa do ar;▪ Sensores para registro da temperatura interna do ar. <p>O motivo principal da medição com termógrafos infravermelhos é visualizar espacialmente a distribuição de temperaturas.</p> <p>As medições experimentais foram realizadas em espaços internos e externos à edificação, onde a cobertura verde foi colocada. Posteriormente, o estudo de suas propriedades térmicas, bem como de seu desempenho foi realizado usando um código computacional e um modelo de simulação numérica.</p>
Conclusão da pesquisa
<p>As temperaturas registradas nas diferentes superfícies das coberturas apresentam significativas variações e dependem do material empregado. Em relação às coberturas com vegetações, também existe essas variações, havendo uma diferenciação de acordo com as espécies vegetais encontradas.</p>

Conclusão da pesquisa

Em análise comparativa, reduzidas temperaturas superficiais são registradas em espaços cobertos por vegetação densa e escura. Temperaturas mais elevadas são registradas em espaços cobertos por vegetações espaçadas e avermelhadas, bem como no substrato.

Em relação à avaliação das propriedades térmicas, em coberturas verdes, concluiu-se a partir de experimentações, que a temperatura do ar interno não ultrapassa os 30°C, já em coberturas convencionais quase sempre ultrapassam os 30°C. Mesmo sem isolamento térmico e, tanto no inverno quanto no verão, as temperaturas dos ambientes internos são mais agradáveis com as coberturas verdes. Como resultado do desempenho térmico, a economia de energia para coberturas verdes é bem maior do que para coberturas sem vegetações.

Quadro 08: Análise das propriedades térmicas das coberturas verdes e investigação de seu desempenho energético
Fonte: Niachou et al. (2001)

INVESTIGATION OF THERMAL BENEFITS OF ROOFTOP GARDEN IN THE TROPICAL ENVIRONMENT		
Autores: Wong, Chen, Ong e Sai.	Ano: 2003	Local: Cingapura
Introdução		
O nome “Cidade Jardim” proporcionou a Cingapura uma reputação internacional, onde o governo local estimula a criação de uma imagem verde além da paisagem existente. Atualmente, as coberturas com vegetação existem em estacionamentos, “flats” e edifícios comerciais. Com um potencial de resfriamento passivo, as coberturas verdes e seus benefícios térmicos são essenciais para projetos arquitetônicos em climas tropicais.		
Objetivos		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Explorar, direta e indiretamente, os impactos térmicos em coberturas verdes no ambiente tropical. ▪ Questionar sobre a redução da temperatura superficial por diferentes espécies de plantas (com diferentes índices de áreas foliares) e a redução do ganho de calor por vegetação. ▪ Avaliar as oscilações das variáveis ambientais ocasionadas pelas plantas. 		

Materiais e Métodos

Foram feitas medições em uma cobertura de um edifício comercial, em Cingapura. O lugar do experimento não foi influenciado por sombras ou pela reflexão da radiação solar. As medições foram realizadas em diversas vegetações e superfícies, no período de outubro a novembro.

Os equipamentos utilizados foram:

- Dois jogos de Dataloggers Yokogawa (DAQstation DX200) e cabos de termopares para a medir temperaturas de superfície;
- Dois jogos de aquisição de dados (Babuc A) e sensores para medir temperatura do ar ambiente, umidade relativa e velocidade do vento.
- Dois jogos de sensores para medir a radiação solar.

Na figura 13 observa-se uma ilustração com os vários pontos das medições realizadas, suas alturas e referências. Na superfície do solo com vegetação (1), na superfície do solo sem vegetação (2), na superfície impermeabilizante em baixo do solo (3), na superfície da laje embaixo do sistema construtivo (4), na superfície com piso (5), na superfície da laje embaixo do piso (6), acima da vegetação (7-9), acima do piso (10-12), acima da mureta que divide o sistema de cobertura verde e o piso (13), entre a laje e o forro (14) e por fim, debaixo do forro (15).

Figura 13: Ilustração com os pontos das medições e suas respectivas alturas
Fonte: Wong et al. (2003a)

As temperaturas do ar externo e a umidade relativa foram medidas sob a proteção de abrigos de madeira branca. Estes abrigos foram projetados sem fechar embaixo para proteger os sensores da radiação solar direta e das precipitações, ao mesmo tempo em que não se interrompe a ventilação natural. Todos os parâmetros foram medidos e gravados em um intervalo de 5 minutos durante os meses de outubro e novembro, analisando assim, os impactos térmicos diretos e indiretos em uma cobertura verde.

Conclusão da pesquisa

Com o resultado das medidas de campo, concluiu-se que os efeitos diretos das coberturas verdes são seus benefícios térmicos, que se deve a combinação dos efeitos da camada de substrato junto com a vegetação. O que reduz os valores das temperaturas superficiais nas coberturas e, consequentemente, sua transferência de calor para os ambientes internos das edificações.

Outro benefício segundo a pesquisa é em relação à atenuação térmica no ambiente externo e na mitigação dos efeitos das ilhas de calor. Desde que aquecida as superfícies externas pela radiação solar e a radiação difusa, ao longo do dia, as mesmas adquirem uma grande temperatura superficial que, posteriormente, emite uma quantidade de radiação em forma de ondas longas para o ambiente. No entanto, a radiação emitida em forma de ondas longas (calor) pela vegetação é bem menor do que a emitida por superfícies sem cobertura vegetal.

Nas áreas sem vegetações, a temperatura máxima da superfície do piso chegou a alcançar 57°C quando a radiação solar estava em 1400 W/m² durante a tarde. A variação diária máxima da temperatura superficial no piso ficou em torno de 30°C. Para o solo exposto, a temperatura de superfície medida durante o dia não era tão elevada quanto à da superfície do piso. A temperatura superficial máxima do solo exposto ficou em torno de 42°C e sua variação diária máxima da temperatura superficial ficou em torno de 20°C. Isso se deve à evaporação da umidade no solo, que contribui com a redução das temperaturas em sua superfície durante o dia.

Com a presença da vegetação, as temperaturas mais elevadas foram registradas, geralmente, sob as folhagens escassas, já as temperaturas menos elevadas foram detectadas sob densas folhagens. A variação diária máxima da temperatura superficial nas vegetações não foi maior do que 3°C e a máxima temperatura de superfície chegou a 36°C, que é um valor bem menor do que aqueles medidos na superfície do piso e no solo exposto.

Comparando os valores do fluxo de calor encontrados embaixo da camada do solo exposto e embaixo da cobertura com vegetação, encontraram-se resultados similares nas medições noturnas. Esses resultados indicam que a camada de substrato possui uma boa propriedade de atenuação térmica. Já em relação à vegetação, as plantas desenvolvem importante papel na redução do ganho de calor através do efeito do sombreamento durante o dia.

Quadro 09: Investigação dos benefícios térmicos de jardins em coberturas no ambiente tropical

Fonte: Wong et al. (2003a)

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS AND NUMERICAL MODELLING OF A GREEN ROOF		
Autor: Lazzarin, Castellotti e Busato.	Ano: 2005	Local: Vicenza - Itália
Introdução		
<p>As coberturas verdes são utilizadas como reguladores de temperatura há muitas décadas atrás, tanto em países de clima frio quanto em países de clima quente. Hoje em dia proporcionam uma maior eficiência energética nas edificações, além de ajudar na redução da poluição urbana.</p>		
Objetivos		
<ul style="list-style-type: none">▪ Avaliar o resfriamento passivo de uma cobertura verde através de dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e radiação solar global.		
Materiais e Métodos		
<p>As experimentações foram realizadas no verão de 2002 e 2003 e no inverno de 2004. As medições foram realizadas em uma cobertura verde instalada em um hospital, na cidade de Vicenza (Itália). A cobertura tinha ao todo 1000m² de extensão, uma camada de substrato com espessura de 0,20m, uma camada de drenagem com espessura de 0,11m (polietileno expandido), e as vegetações utilizadas foram plantas suculentas.</p> <p>Externamente ao sistema construtivo da cobertura foram monitorados dados de temperatura na superfície do solo, em uma profundidade intermediária do solo, no limite entre o solo e a camada de drenagem e entre a camada de drenagem e a capa de impermeabilização. No interior da edificação foi registrada a temperatura superficial da face interna da laje e a temperatura do ar interno.</p> <p>Os instrumentos de medição foram:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Piranômetro▪ Termo – higrômetro / Capacidade do sensor - RTD▪ Coletor de chuva▪ Termômetros para solo / Termopares▪ Higrômetros para solo / Sensores▪ Termômetros para ambiente interno / Termopares <p>Todos os dados foram registrados a cada segundo, com médias de 15 em 15 minutos. Nas medições subseqüentes, a definição do tempo foi ajustada para médias a cada 1 hora.</p>		

Materiais e Métodos

As variáveis meteorológicas foram mensuradas para avaliar o comportamento da cobertura verde através das seguintes equações: irradiação solar global, temperatura do ar e precipitação.

Todas as discussões prévias sobre o comportamento térmico e energético da cobertura verde foram baseadas em resultados de dados experimentais. O modelo estimou o processo de trocas térmicas e da evapotranspiração partindo das variáveis meteorológicas, das características geométricas e termodinâmicas da cobertura verde.

Conclusão da pesquisa

Durante o verão, com o solo em circunstâncias secas, a cobertura verde proporciona uma atenuação do ganho térmico em ambientes internos de aproximadamente 60%, comparado a um telhado tradicional, com uma camada de isolamento. Isso se deve às reflexões e a absorções solares mais elevadas na vegetação, quando a evapotranspiração for muito limitada. No entanto, quando o solo está em uma condição úmida, a cobertura verde trabalha como um refrigerador passivo, pela evapotranspiração.

Quadro 10: Medições experimentais e modelos numéricos de uma cobertura verde
Fonte: Lazzarin, Castellotti e Busato, (2005)

DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS VEGETAIS EM EDIFICAÇÕES NA CIDADE DE SÃO CARLOS-SP		
Autor: Moraes	Ano: 2004	Local: São Carlos - Brasil
Introdução		
Os benefícios das coberturas verdes tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores em diferentes países. Pois frente a um modelo de urbanização que sobrecarrega as cidades e despova o campo, tanto em países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento, projetos alternativos com premissas sustentáveis, com o intuito de uma reabilitação ecológica impõem-se de modo a evitar o consumo excessivo dos recursos naturais.		
Objetivos		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliar teórica e experimentalmente o comportamento térmico de uma cobertura verde, em protótipo, submetida ao clima da cidade de São Carlos - SP (Brasil), em situação de inverno e verão. 		

Materiais e Métodos

O protótipo foi construído sobre a laje de uma edificação existente no departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva da Universidade Federal de São Carlos. Essa edificação possui dois ambientes separados por uma platibanda, definindo o sistema de cobertura verde e a laje pré-moldada de concreto.

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 temperaturas superficiais, modelo HOBO® , fabricado nos Estados Unidos pela empresa "ONSET Computer Corporation". O sistema ainda proporciona a coleta e a transmissão para o computador dos dados sem que o monitoramento seja interrompido.

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 (para o inverno), com pequenas aberturas que permitissem a livre passagem do ar e dentro de duas caixas de poliestireno expandido (para o verão), formando uma câmara de ar entre elas, para melhor isolamento.

As variáveis medidas foram: temperaturas do ar interno e externo, ao protótipo, temperatura superficial interna das lajes e umidade relativa do ar.

Já os dados referentes às temperaturas superficiais externas das lajes foram estimados pelo programa Jardim 1.0 – Temperaturas Superficiais em Vegetação (RORIZ, 2003), que adota um modelo de cálculo baseado no método Penman-Monteith, cuja equação determina a taxa de evapotranspiração da água, em plantas e no solo. O programa gera dois tipos de gráficos: um com curvas de temperaturas do ar e superficiais externas na laje de concreto e na cobertura verde. Outro gráfico apresenta as curvas de irradiações extraterrestres, global, de onda longa, líquida e energia de evaporação.

As medições foram realizadas no mês de junho, para a situação de inverno e em outubro para a situação de verão.

Conclusão da pesquisa

Em relação ao desempenho térmico de inverno, a cobertura verde reduziu as flutuações térmicas diárias da temperatura superficial interna cerca de 70% a mais do que a laje de concreto. A temperatura superficial da cobertura com vegetação, comparada com a temperatura superficial externa da laje, diminuiu cerca de 60%. Isto se deve à capacidade da vegetação de reduzir o ganho de calor por irradiação solar⁹ de ondas longas, uma consequência do efeito de refrigeração evaporativa.

No desempenho térmico de verão, o ambiente com cobertura verde teve uma

⁹ Taxa de radiação incidente sobre um corpo, por unidade de área da superfície. Todas as grandezas relativas às propriedades radiantes dos componentes devem fazer referência ao comprimento de onda da radiação e à sua direção de incidência ou de reflexão ou de emissão. Quando estas informações forem omitidas, tratam-se de propriedades totais hemisféricas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).

Conclusão da pesquisa

redução do fluxo de calor de 20%, pelo sistema estar associado às funções biológicas da vegetação como fotossíntese e evapotranspiração. Assim, absorvem parcelas significativas de irradiância solar, reduzindo temperaturas superficiais internas da laje e amenizando as temperaturas do ar no interior da edificação. Uma vez que, do total da irradiância solar que incide em uma cobertura verde, 27% são refletidos, 60% são absorvidos pelas plantas e 13% são transmitidos para o solo. Quanto as temperaturas superficiais internas, a cobertura verde reduziu cerca de 55% das variações térmicas diárias.

O estudo concluiu, no entanto, que as coberturas com vegetação são alternativas técnicas e economicamente viáveis para o clima local, com amplas possibilidades de utilização. Adicionalmente, os benefícios ambientais desse sistema construtivo extrapolam a própria edificação, atingindo seu entorno na incorporação integrada e harmoniosa entre vegetação e áreas edificadas.

Quadro 11: Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP

Fonte: Moraes (2004)

COBERTURAS VIVAS EXTENSIVAS: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE E SERRA GAÚCHA		
Autor: Krebs	Ano: 2005	Local: Porto Alegre - Brasil
Introdução		
É cada vez maior o número de informações sobre os impactos ambientais resultantes dos procedimentos tradicionalmente adotados, nas atividades da indústria da construção civil em diversos países. Os projetos arquitetônicos, em geral, não prevêem os impactos ecológicos a médio e longo prazo. No entanto, as coberturas verdes representam uma opção que, juntamente com tantas outras técnicas, compõem efetiva possibilidade de mudanças nos paradigmas projetuais.		
Objetivos		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analisar experiências da utilização de coberturas verdes de baixo peso, na região metropolitana de Porto Alegre e na Serra Gaúcha. 		
Materiais e Métodos		
Devido ao inexpressivo número de obras que utilizem as coberturas verdes, comparado às técnicas tradicionais, não há registros dessas obras, categorizando-as em nenhum órgão como CREA (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia), IAB (Instituto dos Arquitetos do Brasil)		

Materiais e Métodos

e Prefeituras. Por esse motivo, foi importante entrevistar o maior número de pessoas envolvidas com o tema, autores de projetos e usuários das edificações com coberturas verdes.

Realizou-se o levantamento de dez edificações, onde foram conhecidos os materiais empregados, as técnicas construtivas utilizadas, os benefícios percebidos pelos autores de projetos e usuários, assim como as dificuldades encontradas pelos mesmos.

Análise e Conclusão da pesquisa

Das edificações pesquisadas a predominância é do uso residencial de coberturas verdes no corpo principal da edificação, especificadas inicialmente com o restante do projeto.

Todas as coberturas têm em comum a investigação construtiva e o interesse na análise de seu comportamento, por parte de seus autores. Três edificações foram classificadas como experimentais, por não usarem mão de obra especializada e também por não terem o compromisso de venda e uso permanente.

Duas edificações se destacam pela data de construção, que foi no ano de 1979. Posteriormente, foram encontrados exemplares de obras com coberturas verdes no ano de 2003, havendo assim um intervalo de 24 anos. Esses dados levaram a algumas hipóteses, como a década de setenta ter impulsionado o interesse pela técnica das coberturas verdes, de baixo peso, em diversos países. E que o interesse por uma nova tecnologia não se dá isoladamente, mas vem de encontro com uma crescente sensibilização social em repensar os processos de consumo dos recursos naturais, emergindo assim no começo do século XXI.

Segundo levantamentos, os diversos sistemas de coberturas verdes foram executados em pouco tempo, no máximo em uma semana. Com exceção das bandejas pré-fabricadas de concreto para plantio de vegetações (Ecotelhas), as demais coberturas utilizaram uma técnica construtiva bem simples, com uma relativa facilidade na execução.

Sessenta por cento das obras levantadas possuem a cobertura verde voltada para o norte, pois quanto maior à incidência solar direta, maior será a evapotranspiração pelas plantas. A predominância da vegetação recaiu sobre as suculentas, já as gramíneas foram evitadas.

Em relação às cargas permanentes, o peso máximo encontrado por m² foi de 250 kg com solo encharcado, e o peso mínimo foi de 110 kg. Outras duas cargas que devem ser consideradas e estimadas são as cargas pontuais, que se localizam sobre as vigas e as cargas acidentais, que são utilizadas para espaço de contemplação e momentos de eventuais manutenções nas coberturas.

A drenagem das águas residuais provenientes das coberturas analisadas acontece de maneira semelhante à drenagem usual dos telhados tradicionais,

Análise e Conclusão da pesquisa

ou seja, por calhas.

Para impermeabilização do sistema construtivo foram utilizadas mantas asfálticas, membrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), pintura asfáltica e membrana de PEAD e, também, telhas onduline, no caso da utilização da Ecotelha. As infiltrações evidenciadas foram provenientes de algumas irregularidades constatadas em fase de execução, como realização de dobras e arremates da membrana de PEAD, sem ser realizada pela fábrica e sem seguir a técnica indicada (solda quente), além das irregularidades e falta de limpeza em cima da cobertura antes de sua colocação, ocasionando furos na mesma. No entanto, a ampla utilização de membranas de PEAD foi devido a sua resistência e a falta de outras opções no mercado.

Uma preocupação recorrente, em relação à camada de substrato, foi em não deixar acontecer seu ressecamento. Uma maneira encontrada para manter a umidade no solo em uma das edificações construídas foi colocar “travessas” de tijolos para acúmulo das águas pluviais. Já em outra obra foram colocados 75% de terra preta, 20% de casca de arroz e 5% de composto orgânico de javalis, também para manter a umidade.

As espécies vegetais empregadas nas obras foram: espécies de gramíneas retiradas do próprio local, grama são carlos (*Axonopus compressus*), dinheiro em penca (*Callisia repens*), érica (*Cuphea gracilis*), calancoê-fantasma (*Kalanchoe fedtschenkoï*), onze horas (*Portulaca oleracea*), lambari (*Tradescantia zebrina*) e a grama esmeralda (*Zoysia japonica*). Outras plantas utilizadas foram indicadas pelo o agrônomo e paisagista Toni Backes, que elaborou uma lista de vegetações (ANEXO A) para as coberturas verdes no Rio grande do Sul, servindo de referência para quatro construções realizadas. Em sua lista, destaca-se a predominância de plantas não só do Brasil, mas de espécies exóticas, pela pouca disponibilidade de produção e pesquisa em relação às espécies nativas, quando empregadas como mudas individuais.

As vegetações dos sistemas de coberturas em geral apresentaram boa aparência e cobriram todo o substrato. Na escolha das espécies vegetais foram priorizadas as plantas que possuíam raízes superficiais, que apresentassem resistência a períodos de seca e frio prolongados, bem como as que resistissem ao excesso de chuvas e ventos. Alguns entrevistados optaram pela substituição de gramíneas por suculentas. Já o arquiteto responsável pela utilização de gramíneas nativas afirma que a tendência é que essas espécies ressequem e se restabeleçam como as do jardim térreo, regenerando-se naturalmente. As duas obras da década de setenta, tiveram a vegetação trocada só depois de vinte anos, devido ao desgaste da impermeabilização.

Em relação às vantagens percebidas pelos moradores, a estética foi colocada como um fator importante, mesmo para aqueles que não a consideravam como prioridade.

Mais da metade dos entrevistados citaram como benefícios, o baixo custo de implantação e manutenção, auxílio na proteção térmica de materiais e componentes do sistema da cobertura, melhora térmica no interior das

Análise e Conclusão da pesquisa

edificações, diminuição do volume e retardo na vazão das águas pluviais e, por fim, integração com projetos por uma arquitetura sustentável¹⁰.

As manutenções realizadas foram regas nos meses quentes, reparos nas infiltrações decorrentes das falhas construtivas e a retirada de ervas daninhas. Nenhum profissional identificou a manutenção das coberturas verdes, de baixo peso, como uma dificuldade encontrada em suas experiências.

Em todos os exemplos levantados há apenas uma técnica industrializada, que são as Ecotelhas. Trata-se de um produto patenteado, de fácil montagem e remoção (no caso de reparos na cobertura) e demonstra que com apenas 50mm de espessura do substrato existem espécies vegetais que se adaptam e desenvolvem plenamente.

Com a presente pesquisa, conclui-se que o Brasil não possui tradição na construção de coberturas verdes. Sendo assim, a análise de toda e qualquer referência construtiva é tão válida quanto um experimento científico para seu conhecimento e disseminação dos saberes.

Quadro 12: Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha
Fonte: Krebs (2005)

3.8 Manutenção, custos e dificuldades

Todas as coberturas verdes requerem algum tipo de manutenção, no entanto, coberturas verdes, com baixo peso próprio, necessitam de pouca manutenção depois da vegetação totalmente estabelecida e até a irrigação se faz desnecessária. Para remoção das ervas daninhas que possam se instalar nas coberturas recomendam-se podas de uma a duas vezes no ano e, além disso, pode-se utilizar grandes proporções de minerais no substrato como forma de reduzir seu desenvolvimento. Coberturas verdes de baixo peso não precisam de fertilizantes e

¹⁰ A Arquitetura sustentável considera a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima local, consumindo menores quantidades de energia, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações (CORBELLA; YANNAS, 2003). Não pressupõe um estilo ou um movimento arquitetônico, mas pode ser encontrada tanto na arquitetura vernacular das mais variadas culturas como em muitos exemplos do modernismo (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

para as coberturas que possuem plantas suculentas em sua superfície, nem as podas são necessárias (PORSCHKE; KOHLER, 2003).

A maioria dos benefícios das coberturas verdes são a longo prazo e, nesse sentido, torna-se difícil a determinação de custos para uma avaliação financeira imediata. No entanto, proprietários de edifícios tomam suas decisões baseadas, principalmente, em uma simples comparação financeira de benefícios e custos adicionais que possam ter com a cobertura verde (PHILIPPI, 2006).

De acordo com Wong et al. (2003b), embora a cobertura verde possa ter um custo mais elevado inicialmente, esse valor é posteriormente compensado, levando-se em consideração os benefícios provenientes do ciclo de vida útil deste sistema de cobertura. Resultados de pesquisas demonstram que a cobertura verde pode diminuir o consumo de energia do edifício, gerando uma economia líquida anual de 14.6%. Assim, a incorporação da eficiência energética no ciclo de vida útil da cobertura verde demonstra uma vantagem relevante, compensando assim, despesas anteriormente aplicadas na construção. Na Alemanha, por exemplo, onde o desenvolvimento das coberturas verdes encontra-se estabelecido, uma indústria inteira de serviços foi formada para reduzir custos na fase de instalação.

Para Porsche e Kohler (2004), os custos para a construção de uma cobertura verde na Alemanha são, aproximadamente, duas vezes mais do que para a construção dos telhados convencionais. Nos Estados Unidos, os valores são similares aos da Alemanha, já no Brasil, os custos são 30% a menos do que os valores encontrados na Alemanha e nos EUA. O valor dos salários pagos para a construção das coberturas verdes varia de acordo com cada país. A mão de obra nos EUA custa 50% a menos do que na Alemanha, já no Brasil chega até a 90% a menos quando comparada, também, com a mão de obra alemã.

Alguns fatores contribuem para minimizar os custos materiais como, por exemplo, a standardização e a certificação de produtos verdes, bem como a introdução de produtos e componentes industrializados para construção das coberturas verdes. Outro fator se refere é a especialização e o treinamento de mão de obra para reduzir os custos na fase de construção. Assim, a chave econômica para o fomento das coberturas verdes é a introdução de uma moderna tecnologia (PHILIPPI, 2006).

Segundo Peck et al. (1999), todas as novas tecnologias enfrentam barreiras para se introduzir no mercado. Mesmo que as coberturas verdes estivessem com toda credibilidade, além de bem divulgadas e estabelecidas, as barreiras à entrada nos mercados continuariam existindo. Estas barreiras são estruturadas em quatro principais categorias:

- Falta de conhecimento e sensibilização para o tema;
- Falta de incentivo à implementação;
- Barreiras custo-benefício;
- Riscos técnicos associados com a incerteza do sistema construtivo.

Tanner e Scholz-Barth (2004) complementam com outras três questões relativas às barreiras encontradas para implementação das coberturas verdes, como a falta de diretrizes, especificações e mão de obra com profissionais qualificados.

3.9 Comportamento, desempenho e conforto térmico

Segundo Vecchia (2003), para avaliar o comportamento térmico das envolventes de uma edificação é necessário analisar os dados meteorológicos obtidos em superfície (temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade

dos ventos predominantes, pluviosidade e radiação solar global) em função do tempo de exposição às condições climáticas. Nesse sentido, pode-se salientar que a incidência da radiação solar é o elemento principal nos processos de trocas térmicas, sobretudo, nos sistemas de cobertura das edificações.

A característica mais importante para o controle térmico dos materiais e componentes construtivos é avaliar o seu comportamento térmico, do ponto de vista da transmissão de calor. Com a utilização de materiais com inércia térmica ou capacidade isolante pode-se obter o equilíbrio térmico das temperaturas no interior das edificações. O principal critério para conseguir este equilíbrio térmico é ter um fluxo mínimo no ganho de calor interno pelas envoltentes, no verão, e uma perda mínima de calor, também, pelas envoltentes, no inverno (OLGYAY, 1998).

O desempenho térmico pressupõe a utilização de padrões de referência comparativa às situações definidas ou anteriormente analisadas, uma vez que o desempenho existe em função das demais situações similares e, portanto, exige sempre um referencial de comparação (VECCHIA, 2003).

A manutenção do equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente que está inserido é um requisito fundamental para conservação da saúde e do bem-estar dos indivíduos (GIVONI, 1976). O interesse em estabelecer critérios para o conforto térmico começou a, aproximadamente, cento e cinqüenta anos atrás, na Europa do século XIX, com o movimento por melhores condições de trabalho nas indústrias (KOENIGSBERGER et al., 1980). Nesse sentido, o conforto térmico é definido como, uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 1993).

De acordo com Frota e Shiffer (1988), a classificação de índices para a avaliação do conforto térmico procura englobar o efeito conjunto de diversas variáveis, caracterizando-se por:

- **Índices biofísicos:** Baseia-se nas trocas de calor entre o organismo humano e o ambiente.
- **Índices fisiológicos:** Trata-se da relação entre as variáveis fisiológicas e os dados meteorológicos como, temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos e radiação solar global.
- **Índices subjetivos:** Está relacionado com as percepções individuais que variam de pessoa para pessoa.

Pode-se perceber que a definição de comportamento, desempenho e conforto térmico são três conceitos distintos. Em relação a presente pesquisa foi adotado o conceito de comportamento térmico, para análise e comparação das respostas térmicas em diferentes sistemas de cobertura frente aos dados meteorológicos.

3.10 Trocas térmicas

Sempre que um corpo estiver a uma temperatura maior que a de outro corpo, ou que, no mesmo corpo existam temperaturas diferentes, ocorre uma transferência de energia, da região de temperatura mais elevada para a menos elevada, e a este fenômeno dá-se o nome de transmissão de calor (ARAÚJO 1982).

As trocas de calor que compreendem variações de temperaturas são denominadas trocas secas. Nestas trocas, o calor envolvido é denominado como calor sensível e os mecanismos acontecem pela: condução, radiação e convecção. No entanto, há uma outra forma de troca térmica, que são as trocas úmidas. Para isso, acontece uma mudança no estado de agregação da água, onde o calor envolvido nestas trocas é denominado calor latente e os mecanismos são:

evaporação e condensação (FROTA; SHIFFER, 1988). No quadro 13 estão definidas conceituações sobre estas diferentes formas de trocas térmicas.

TROCAS TÉRMICAS SECAS	
CONDUÇÃO	
Processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes, com contato físico direto. No fluxo de calor por condução, a energia é transmitida por meio de comunicação molecular direta, sem o deslocamento das mesmas (KREITH, 1973).	
CONVECÇÃO	
Processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura (KREITH, 1973).	
RADIAÇÃO	
Processo pelo qual o calor é transferido de um corpo em alta temperatura para um corpo em baixa temperatura, quando os mesmos estão separados no espaço, ainda que exista vácuo entre eles. Geralmente este conceito é aplicado a todos os tipos de processos que transmitem energia por meio de ondas eletromagnéticas (KREITH, 1973).	
TROCAS TÉRMICAS ÚMIDAS	
EVAPORAÇÃO	
Proveniente da mudança do estado líquido para o gasoso. A velocidade da evaporação é em função do estado higrométrico do ar e sua velocidade (FROTA; SHIFFER, 1988).	
CONDENSAÇÃO	
Decorre da mudança do estado gasoso do vapor de água contido no ar para o estado líquido, a partir do ponto de orvalho, onde o grau higrométrico do ar se eleva a 100% (FROTA; SHIFFER, 1988).	

Quadro 13: Conceituação dos mecanismos físicos para trocas térmicas

Estritamente falando, somente a condução e a radiação devem ser classificadas como processos de transferência de calor, pois esses dois mecanismos dependem da existência de diferenças de temperaturas para operar. O último dos três modos, a convecção, não obedece à definição da transferência de calor, porque

sua operação também depende do transporte mecânico de massa. Porém, a convecção também realiza a transmissão de energia, de regiões de temperatura mais alta para regiões de temperatura mais baixa, nesse sentido, o termo "transferência de calor por convecção" tornou-se aceito de forma generalizada (KREITH, 1973).

De acordo com Araújo (1982), o fenômeno da radiação é de fundamental importância para a vida no planeta, pois é assim que o sol aquece a Terra, oferecendo indispensáveis condições à existência vegetal e animal. No entanto, a incidência de uma radiação eletromagnética sobre uma superfície sofre um parcelamento de sua intensidade, sendo uma parte absorvida, a outra transmitida e a outra refletida. A radiação térmica ao se refletir, pode acontecer de duas maneiras: radiação regular (ângulo de reflexão igual ao de incidência) e radiação difusa (distribuição em várias direções dos raios refletidos). O que define se a radiação vai ser regular ou difusa é a natureza da superfície. Se a superfície for lisa e polida, maiores as chances de ocorrerem radiações regulares, no entanto, se a superfície for áspera, rugosa e sem brilho, maior a chance de ocorrer à radiação difusa.

Quando o fluxo de calor é variável nas diferentes seções de um fechamento, ou seja, o fluxo que entra é diferente do fluxo de calor que sai, denomina-se de regime transitório. O regime transitório pode ser particularmente um caso de periodicidade, no qual as temperaturas de um mesmo ponto variam ciclicamente, como as oscilações das temperaturas em relação à cobertura de uma edificação, exposta dia e noite às condições atmosféricas (ARAÚJO, 1982 e COSTA, 1982).

Em uma cobertura, as trocas de calor entre o ambiente externo e interno ocorrem conforme ilustrado na figura 14. Ao projetista da edificação, cabe reduzir estas trocas térmicas atuando sobre os elementos e componentes de vedação. Sua

possibilidade de ação sobre as parcelas convectivas, em geral, é limitada, pois esta depende fortemente da incidência dos ventos, restando como alternativa a atuação sobre as componentes condutiva e radiante (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

Figura 14: Trocas de calor em uma cobertura
Fonte: Vittorino, Sato e Akutsu (2003)

Segundo Serra (2002) e Costa (1982), a radiação solar é o fator que mais influencia nos processos de trocas térmicas, devido a sua forte incidência direta nas superfícies dos fechamentos e, também, devido às radiações provenientes do entorno.

Tradicionalmente, “isolar termicamente” uma cobertura estava associado à utilização de materiais conhecidos como isolantes “resistivos”, isto é, que reduzem a transferência de calor por condução. A resistência térmica destes materiais se deve principalmente à grande quantidade de ar presente entre as fibras, ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares. Outra forma de reduzir os ganhos de calor pela cobertura é diminuir a

absorção da energia solar pelo uso de materiais de alta refletância¹¹, na sua face externa, ou reduzir a quantidade de calor irradiado para o interior dos recintos, pelo emprego de materiais com baixa emissividade¹² (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

Nota-se que os fechamentos opacos têm uma importância fundamental sobre as condições internas das edificações, não só por atuarem como uma barreira térmica, mas porque, também, são capazes de acumular energia térmica na massa dos elementos que compõem as envolturas da edificação (SERRA, 2002).

Nesse sentido, a massa térmica¹³ tem sua importância como elemento retardador da progressão da onda de calor, amenizando situações de temperaturas extremas no interior das edificações (diminuição das amplitudes térmicas) e poupando energia, tanto para aquecimento, quanto para resfriamento dos ambientes internos. Nesse sentido, é com base no conceito de inércia térmica que a influência da massa dos elementos construtivos mais se aplica ao comportamento térmico dos edifícios (ANES, 2007).

3.10.1 A inércia térmica

Os valores das temperaturas diárias, cujas flutuações são aproximadamente senoidais, influenciam diretamente nos fechamentos de uma edificação. Sendo assim, as características dos materiais empregados podem ser utilizadas de forma favorável para conseguir melhores condições térmicas, no interior dos ambientes (OLGYAY, 1998).

¹¹ Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre essa mesma superfície (ABNT, 2003).

¹² Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície, pela taxa de radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura. Grandezas relativas às propriedades radiantes dos componentes devem fazer referência ao comprimento de onda da radiação e à sua direção de incidência, ou de reflexão ou de emissão (ABNT, 2003).

¹³ Refere-se à combinação da densidade e da espessura do material da envoltura (PAPST, 1999).

Pela inércia térmica, o calor externo ganho durante o dia é armazenado na massa dos elementos que compõem a envoltória da edificação e somente parte deste calor é transmitido para o interior dos ambientes. Neste contexto, dois parâmetros são importantes para a análise da inércia térmica, o tempo de atraso e o amortecimento do calor transmitido (Quadro 14), que se relacionam diretamente com as características térmicas do material e sua espessura (PAPST, 1999).

ATRASO TÉRMICO
<ul style="list-style-type: none">▪ Tempo 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. O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que às camadas estão dispostas (ABNT, 2003).
AMORTECIMENTO TÉRMICO
<ul style="list-style-type: none">▪ É a propriedade do fechamento, de diminuir a amplitude das variações térmicas. Trata-se da relação entre a amplitude da temperatura superficial interna de um fechamento, pela amplitude da temperatura do ambiente externo. Para o coeficiente de amortecimento, em regimes cíclicos e temperaturas internas constantes, o valor será sempre menor que 1, e quanto menor for seu valor, maior será a capacidade de amortecimento do fechamento (RIVERO, 1985).
AMPLITUDE TÉRMICA
<ul style="list-style-type: none">▪ É a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas (PICCININI; GAN, 2006).

Quadro 14: Definição dos parâmetros para análise da inércia térmica

Somente o fator de amortecimento, que está relacionado à resistência dos componentes opacos às flutuações da temperatura externa, não denota uma boa inércia térmica, mas sim quando associado a um atraso térmico. Ou seja, quando associado à capacidade de armazenar e retardar a transferência de calor para o ambiente interno, característica dos elementos massivos (YOSHIDA, 2006).

Na figura 15, pode-se observar um ambiente que recebe a incidência dos raios solares durante o dia, armazena o calor na envolvente construtiva e só transfere esse calor no período noturno. Nota-se, também, pelo gráfico esquemático sobre as amplitudes térmicas que as variações das temperaturas ocorridas durante o dia foram de maior amplitude fora da edificação e de menor amplitude dentro da edificação. Evidencia-se assim, um amortecimento térmico conferido pelo tipo de fechamento e um atraso no ápice dessas temperaturas, atenuando termicamente os ambientes internos.

Figura 15: Parâmetros relativos à inércia térmica
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1997)

Segundo uma pesquisa realizada por Granja (2002), sobre os efeitos da inércia térmica em fechamentos opacos, concluiu-se que seus benefícios se dão essencialmente em relação ao amortecimento e deslocamento dos ápices de cargas térmicas e são passíveis de conferir vantagens energéticas nas edificações. Para tanto, esses parâmetros dependem da localização da edificação, das características construtivas, do projeto e de seu regime de operação.

Para Frota e Schiffer (1988), nem sempre a inércia térmica tem suas vantagens, pois em lugares de clima quente e úmido dificulta a retirada do calor interno, prejudicando o resfriamento da construção. Assim, quando a temperatura do ar externo no período noturno está agradável, a envolvente começa a transmitir o calor armazenado durante o dia. Portanto, o uso de elementos construtivos com considerável inércia térmica se faz pertinente em regiões com grandes amplitudes da temperatura do ar externo nas estações quentes (GOODWIN; CATANI, 1979).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para o cumprimento dos objetivos propostos pela pesquisa. Cabe ressaltar, que toda a metodologia aplicada foi desenvolvida por Vecchia (1997) e descrita em sua tese de doutorado, *Clima e Ambiente Construído: A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*.

Em um primeiro momento foi feita uma caracterização geral sobre o canteiro experimental, sua localização, as células de teste e os sistemas de coberturas analisados. Posteriormente, foram descritos os equipamentos de monitoramento utilizados, os valores monitorados nas células de teste, o acompanhamento dos estados atmosféricos e a análise dos dados de superfície. Por fim, apresentou-se a definição do episódio representativo do fato climático (com base na climatologia dinâmica) e a avaliação do comportamento térmico em edificações.

4.1 As células de teste

As células de teste estudadas na presente pesquisa são construções com dimensões padrão, onde o único diferencial é o sistema construtivo das coberturas. O motivo da construção dessas células de teste veio da necessidade de realizar medições experimentais em espaços edificadas com uma escala tal, que permitisse se apropriar dos dados monitorados para analisar e comparar o comportamento térmico das envoltivas de uma maneira mais próxima do real.

4.1.1 Localização

A cidade onde se situa o experimento da pesquisa sobre a análise do comportamento térmico de um sistema de CVL e sua comparação entre diferentes sistemas de coberturas é São Carlos.

Localiza-se na região central do Estado de São Paulo (Figura 16), aos 22°03' de latitude sul e 47°56' de longitude oeste, com altitude média de 850m acima do nível do mar (EMBRAPA, 2006). Devido à posição geográfica, no topo das *cuestas* basálticas e no início do Planalto Ocidental, encontra-se muito exposta aos ventos de caráter zonal. Essa característica geofísica impõe um particular sistema de ventos, que contribui para a caracterização do clima de São Carlos (VECCHIA, 1997).

Figura 16: Localização do Município de São Carlos em relação ao Estado de São Paulo e ao Brasil
Fonte: Abreu (2006)

Segundo a clássica caracterização de Köppen (1948), o clima do Município é tropical de altitude (Cwa), clima quente de inverno seco, onde a temperatura média do mês menos quente é inferior a 18°C, ao passo que a do mês mais quente ultrapassa 22°C. O total de chuvas do mês mais seco não atinge 30 mm, ao mesmo tempo em que o mês mais chuvoso apresenta pluviosidade dez ou mais vezes superior a do mês mais seco.

No entanto, de acordo com preceitos da Climatologia Dinâmica, Monteiro (1973) classifica São Carlos como região de climas controlados por massas equatoriais e tropicais, caracterizando-se por climas tropicais alternadamente secos e úmidos (Vb). Assim, a região Centro-Norte do Estado de São Paulo, onde se situa a cidade, é individualizada pelo ritmo¹⁴ da circulação atmosférica regional que se justapõe às diversidades do relevo. A característica marcante dessa região é

¹⁴ Ver definição na página 103.

conferida pela existência de um período seco nítido, onde a frequência das chuvas diminui consideravelmente, culminando na área de inverno mais seca do Estado.

4.1.2 Caracterização geral

O canteiro experimental se encontra na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), na Universidade de São Paulo (USP), possui uma estação meteorológica automática (Laboratório de Construção Civil - Departamento de Arquitetura e Urbanismo) e diversas células de teste (Figura 17).

Figura 17: Localização do canteiro experimental no Campus da USP - São Carlos
Fonte: Universidade de São Paulo (2006)

As células de teste possuem características similares em relação à orientação solar, aberturas, dimensões e composição dos elementos construtivos, variando apenas o sistema de coberturas. As construções têm dimensões internas de 2.20m x 2.70m e 2.90m de altura (Figura 18).

Figura 18: Corte e planta esquemático das células de teste
Fonte: Vecchia e Castañeda (2006)

Todas as células de teste possuem piso de concreto (tipo radier com 0.15m de espessura) e paredes de tijolo cerâmico maciço (0.20 x 0.10 x 0.05m), pintadas de cor branca. As portas (2.10 x 0.60m) e as janelas (1.00 x 0.70m) da construção são todas com placas de embalagem longa vida reciclada. A orientação Norte fica voltada à fachada com janela e a orientação Leste para a fachada principal, com porta.

A implantação no terreno obedeceu à estratégia da trajetória aparente do sol, evitando sombreamento de uma célula de teste sobre outra. Também foram levados em consideração os ventos predominantes na região, que se alternam entre nordeste e sudeste.

Dentre todas as células de teste que se situam no canteiro experimental (Figura 19), apenas cinco sistemas de coberturas foram analisados e comparados nessa pesquisa, sendo eles: 1) telha de aço galvanizado, 2) telha de fibrocimento ondulada, 3) laje pré-moldada cerâmica, 4) telha cerâmica e 5) CVL.

Figura 19: Células de teste no canteiro experimental da USP - São Carlos
Fonte: Fotos por Daniela Arantes (2007)

Foram comparados no presente estudo com o sistema de CVL, três sistemas construtivos de coberturas utilizados amplamente no Brasil, que são: as telhas cerâmicas, as telhas de fibrocimento e as telhas de aço galvanizado. O outro sistema de cobertura utilizado, muito comum na América Latina, é a laje pré-moldada cerâmica sem colocação de telhas. Trata-se de uma laje pré-moldada, com vigotas de concreto e vedação cerâmica, impermeabilizada com geomanta aplicada sob tintura impermeabilizante, a base de óleo vegetal de mamona (*Ricinus communis*) na cor branca (Figura 20).

Figura 20: Células de teste com telha de aço galvanizado, fibrocimento, laje pré-moldada cerâmica e telha cerâmica, respectivamente, no canteiro experimental da USP - São Carlos
Fonte: Fotos por Daniela Arantes (2007)

4.1.3 O sistema de cobertura verde leve (CVL)

A CVL constitui-se de diversas “camadas” sobrepostas em cima de uma laje pré-moldada cerâmica, sendo elas: camada de resina polimérica vegetal para impermeabilização da laje, geomanta tridimensional para drenagem, camada de substrato com terra vegetal e grama esmeralda (*Zoysia japonica*) em sua superfície.

Sua vantagem é aliar um sistema construtivo de baixo peso próprio, isto é, pouca sobrecarga na estrutura da edificação comparado a outros sistemas de coberturas verdes, com um menor impacto no ambiente, em relação às etapas de construção e ao longo da vida útil do edifício.

Para a construção deste sistema de cobertura foram utilizados os materiais e componentes descritos no quadro 15.

Materiais e componentes utilizados na construção da CVL	
Laje	Blocos cerâmicos com vigotas pré-moldadas de concreto. Cimento, areia e pedra.
Platibanda	Tijolo cerâmico maciço (0.05 x 0.10 x 0.20m) e tubos de PVC. Cimento e areia.
Impermeabilização	Resina poliuretana de origem vegetal (<i>Ricinus communis</i>).
Pasta de cimento	Cimento e látex.
Drenagem	Geomanta MacDrain® 2L (Maccaferri).
Substrato	Terra preparada.
Vegetação	Grama esmeralda em rolo (<i>Zoysia japonica</i>)

Quadro 15: Descrição dos materiais e componentes utilizados para a construção do sistema de CVL

Fonte: Vecchia (2005) e Lima (2005)

A célula de teste utilizada, pré-existente no canteiro experimental, necessitou de uma adaptação para a construção da CVL, modificando assim sua inclinação. Portanto, com a diminuição da declividade existente elevaram-se as paredes da célula de teste, passando a inclinação da cobertura para 10% (Figura 21).

Figura 21: Elevação de paredes para modificação de inclinação e construção da CVL
Fonte: Lima (2005)

ESTRUTURA DE SUPORTE

Trata-se de um sistema de cobertura, que possui seu apoio em uma laje, tradicionalmente utilizada no Brasil, constituída de vigas pré-moldadas e blocos cerâmicos, com dimensão total de 2.8 x 4.2m (Figura 22).

Figura 22: Laje para sustentação do sistema de CVL
Fonte: Lima (2005)

Depois da laje finalizada construiu-se uma platibanda, com duas fiadas de tijolos maciços e canos de PVC para escoamento das águas pluviais (Figura 23).

Figura 23: Platibanda finalizada
Fonte: Lima (2005)

A água coletada serviu para estudo hidrológico, no que se refere ao reuso de águas pluviais utilizando a CVL. Esse estudo foi desenvolvido por Cunha (2004), um dos pesquisadores do grupo de *Ecotecnologias: novos materiais e procedimentos* em parceria com o NIBH (Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas), pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP).

IMPERMEABILIZAÇÃO

Primeiramente, foi realizada uma pré-impermeabilização com uma pasta constituída de cimento, água e látex, com a finalidade de tampar os poros do concreto. Esta pasta foi espalhada na superfície da laje, com o auxílio de um rodo e na platibanda usando um rolo (Figura 24). Salienta-se a importância de espalhar a pasta de cimento uniformemente, garantindo com que toda a superfície tenha recebido a nata, para maior aderência da camada de impermeabilização.

Figura 24: Aplicação da pasta de cimento em cima da laje e da platibanda
Fonte: Cunha (2004)

Depois da aplicação desta pasta de cimento foi empregada na superfície externa da laje, uma resina polimérica vegetal a base de óleo de mamona (*Ricinus communis*), que visa à impermeabilização de superfícies porosas (ANEXO B). Com a aplicação desta resina formou-se um filme altamente compacto sobre a superfície impermeabilizada, evitando a penetração de água e outros agentes agressivos aos componentes construtivos da laje. Sua aplicação se realizou por meio de rolos e pincéis, semelhante à aplicação de uma tinta, e foram aplicadas duas camadas de impermeabilizante (Figura 25).

Figura 25: Aplicação da resina polimérica vegetal na laje da CVL
Fonte: Lima (2005)

O emprego dessa resina polimérica é recomendado, conforme normas da ABNT, para casos de impermeabilização contra água sob pressão e impermeabilização contra umidade do solo.

A resina polimérica vegetal a base de óleo de mamona foi desenvolvida por Chierice (1994), pelo Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros, do Instituto de Química da USP (campus São Carlos-SP) e é comercializado pela empresa Construquil Polímeros. Constitui-se de produto obtido a partir de recurso renovável e não tóxico o que contribui para uma construção de caráter sustentável, não provocando prejuízos ao meio ambiente ou à saúde de quem a manipula ou a utiliza na fase de ocupação.

DRENAGEM

O sistema de drenagem utilizado foi um geocomposto (MacDrain® 2L), fabricado pela empresa Maccaferri, indústria de produtos voltados para geotecnia (ANEXO C). Este geocomposto possui características de leveza e flexibilidade, com núcleo drenante constituído por geomanta tridimensional, com espessuras de 10mm ou 18mm (Figura 26).

Figura 26: Geomanta MacDrain® 2L
Fonte: Maccaferri (2006)

Esta geomanta é fabricada a partir de filamentos de polipropileno ou poliamida (nylon), tendo índice de vazios em torno de 95%. O núcleo é termo soldado a dois geotêxteis (não-tecidos de poliéster) em todos os pontos de contato.

Suas vantagens são: proporcionar elevada capacidade de vazão, ser de fácil manuseio, simples instalação, proteger os sistemas de impermeabilização contra eventuais danos mecânicos e principalmente ser leve e bem flexível.

SUBSTRATO E VEGETAÇÃO

A vegetação utilizada no sistema de CVL foi a grama esmeralda (*Zoysia japonica*), plantada em um substrato composto de terra preparada (Figura 27).

Figura 27: Colocação da grama esmeralda (*Zoysia japonica*) no sistema de CVL
Fonte: Lima (2005)

Segundo Lorenzi e Souza (2001), a grama esmeralda é uma herbácea rizomatosa, reptante, perene, ramificada, proveniente do Japão. Seu crescimento varia de 0.10m a 0.15m de altura. Cultivada em gramados a pleno sol, não resiste a pisoteios, não tolera muita sombra e exige poucas podas. Deve ser plantada em terra fértil e irrigada em intervalos. Multiplica-se por placas ou divisão de touceiras.

Na figura 28 observa-se a mesma célula de teste, com o sistema de CVL em dois momentos, primeiramente, sem o sistema para coleta de água das chuvas e, posteriormente, com o sistema para coleta de água das chuvas e avaliação de seu reuso.

Figura 28: Sistema de CVL em célula de teste no canteiro experimental da USP - São Carlos
Fonte: Lima (2005)

4.2 Medições

4.2.1 Equipamentos de medição e armazenamento de dados

Para realização de medições nas células de teste e seu posterior armazenamento, utilizou-se um sistema de aquisição de dados automático. Este sistema processa os registros de temperaturas relativas ao comportamento térmico dos diferentes sistemas de cobertura, a partir de termopares (Quadro 16).

MODELO	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS
DATALOGGER CR10X	<i>Datalogger Campbell Scientific Inc.</i> , modelo CR 10X, com terminal para a conexão de 12 sensores, teclado e <i>display</i> embutidos. Uma porta de comunicação de 40Kb de memória RAM interna (19.296 <i>Datapoints</i>) e baterias internas recarregáveis/re carregador de baterias.
PS12LA	Bateria recarregável 12V.
PC208e	<i>Software</i> de programação e comunicação PC208W.
SC32A	Interface de comunicação direta.
SM716	Módulo externo de memória RAM – 96K.
SC532	Interface para módulo externo de memória SM192.

Quadro 16: Descrição dos equipamentos do sistema de aquisição de dados
Fonte: Vecchia (2003)

Nesse sentido, no interior de uma das células de teste do canteiro experimental foi instalada uma caixa termicamente isolada, para proteção dos equipamentos de monitoramento, contendo: um *datalogger* CR10X da *Campbell Scientific Inc.*, um multiplexador de 32 canais tipo AM416, um conjunto de termopares tipo T (cobre/constantin) e um sistema de bateria, ligado a um painel solar externo (Figura 29).

Figura 29: Sistema de aquisição automática de dados no interior da caixa térmica
Fonte: Foto por Daniela Arantes (2007)

Cada célula de teste dispõe de termopares para leitura da temperatura superficial interna dos elementos construtivos, do sistema de cobertura, e da temperatura do ar interno. Na superfície interna de cada sistema de cobertura foram instalados três sensores de temperatura par-termoelétricos, para fornecer médias na totalização dos registros da temperatura superficial.

O contato da ponta do termopar e a superfície dos diferentes sistemas de cobertura, em sua parte interna, se deu por meio de um pequeno orifício. Assim, foi encaixada somente a ponta eletro-soldada (em atmosfera de gás argônio), juntamente com um pouco de pasta térmica, para melhor condução do calor (Figura 30). O cabo dos sensores foi fixado nas diferentes superfícies dos sistemas de cobertura, com cola tipo araldite.

Figura 30: Termopar (cobre/constantin) com ponta eletro-soldada
Fonte: Foto por Daniela Arantes (2007)

As pontas dos sensores foram criteriosamente protegidas por abrigos (*shields*), constituídos por um tubo PVC com 150mm de diâmetro e aproximadamente 0.10m a 0.15m de comprimento, isolamento térmica (foil), ventoinhas laterais e dispostos a uma altura de 1.00m em relação ao piso (altura máxima da zona habitada).

Para monitorar a temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global, pluviosidade, direção e velocidade dos ventos, utilizou-se a estação meteorológica automática (Figura 31) localizada, também, no canteiro experimental em frente às células de teste.

Figura 31: Estação meteorológica automática do Laboratório de Construção Civil - Departamento de Arquitetura e Urbanismo (USP - São Carlos)
Fonte: Foto por Daniela Arantes (2007)

A composição instrumental contida na estação meteorológica automática está descrita nos quadros 17 e 18 onde, respectivamente, são apresentados os equipamentos e os sensores utilizados, com algumas informações complementares.

COMPOSIÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA	
01 CR21X (<i>Datalogger</i>)	01 CONTROLE DE TENSÃO
02 ANEMÔMETROS	01 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR
01 ANEMOSCÓPIO	01 SENSOR PARA PRESSÃO BAROMÉTRICA
01 PAINEL SOLAR	01 PLUVIÔMETRO (com báscula de 1mm de chuva)
01 BATERIA RECARREGÁVEL DE 12V	01 PIRANÔMETRO (sensor de radiao solar global)

Quadro 17: Composio instrumental da estao meteorológica automática
Fonte: Vecchia (2003)

SENSORES	
HMP35C-U	Sensor de temperatura (-35 a +50°C) e de umidade relativa do ar (0 a 100%). Fabricante: Vaisala.
03001	R.M.Young Wind Sentry anemmetro (0 a 60m/s).
41002	Abrigo meteorológico para sensor de temperatura e umidade relativa HMP35C-U, não aspirado R.M.Young.
TM525MM	Sensor de precipitao (tipo báscula – incrementos de 0,1mm). Fabricante: Texasonics.
PTA427	Sensor de pressão barométrica (800 a 1060 mB). Fabricante: Vaisala.
LI200X	Sensor de radiao solar global LI-COR (400 a 700 nM), radiao direta e difusa.

Quadro 18: Descrio de sensores utilizados nas medies
Fonte: Vecchia (2003)

Para acompanhar mais amiude o processo das trocas térmicas, os dados climáticos foram adquiridos através de monitoramento contínuo, com registros dos valores a cada 20 segundos, totalizando médias de 30 em 30 minutos. Salienta-se,

que a Organização Mundial de Meteorologia estabelece registros a cada 60 segundos, com médias a cada hora.

4.2.2 Valores monitorados nas células de teste

- **TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERNA DOS SISTEMAS DE COBERTURA**

Esse parâmetro foi escolhido para exprimir o comportamento térmico dos componentes construtivos, que compõe os distintos sistemas de cobertura, com diferentes propriedades termofísicas.

Destina-se a medir os valores da energia interna, na superfície dos sistemas de cobertura, que por condução transmitem o calor do lado mais quente para o lado mais frio.

- **TEMPERATURA DO AR INTERNO**

É responsável pela avaliação do comportamento térmico do ar ambiente no interior das células de teste e envolvem mecanismos de trocas de calor por condução, convecção e radiação.

Pode-se dizer que as diferenças entre os valores das temperaturas do ar interno, registrados em cada uma das células de teste, são provenientes das diferenças do comportamento térmico de cada componente construtivo do sistema que compõe a cobertura. Portanto, os valores registrados expressam as condições térmicas existentes no interior de cada uma das células de teste.

Duas colocações se fazem pertinentes em relação às experimentações desenvolvidas nas células de teste, a primeira em relação ao calor interno excessivo provocado pela ação da radiação solar direta (principalmente no período vespertino)

e a segunda em relação à dispersão térmica, onde todo calor armazenado durante o dia é emitido novamente ao ambiente, devido às diferenças de temperatura.

4.2.3 Acompanhamento dos estados atmosféricos

O acompanhamento dos estados atmosféricos para a análise do episódio representativo do clima, pode ser realizado e observado pelo comportamento do regime de ventos, pelo sistema de formação e dissipação de nuvens e pela ocorrência de chuvas. Além disso, pode-se visualizar o registro da entrada de sistemas frontais (frentes frias) sobre uma dada região, por meio de imagens de satélites.

As massas de ar atuantes devem ser classificadas de acordo com sua intensidade (vigorasas ou dissipadas) e quanto à sua duração (tempo que permanecem ativas sobre a região analisada).

Os estados atmosféricos podem ser subdivididos em etapa pré-frontal e etapa pós-frontal, expressos pelos períodos que antecedem e sucedem à penetração da frente fria, respectivamente. A etapa pré-frontal pode ainda ser subdividida em duas fases: prenúncio e avanço. A etapa pós-frontal em outras duas fases: domínio e transição.

Com base na atuação dos sistemas atmosféricos predominantes, pode-se compreender a ação das massas de ar sobre a região analisada, assim como suas repercussões no espaço geográfico e, principalmente, sobre o ambiente construído.

O quadro 19 apresenta uma comparação entre as principais diferenças das duas etapas dos sistemas atmosféricos.

PRÉ-FRONTAL	PÓS-FRONTAL
Fases: prenúncio e avanço	Fases: domínio e transição
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calor – seco; ▪ Elevação dos valores da temperatura relativa do ar; ▪ Redução dos valores da umidade relativa do ar; ▪ Queda da pressão atmosférica; ▪ Ruptura do regime dos ventos predominantes (velocidades acima do habitual e fortes rajadas). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frio – úmido; ▪ Diminuição dos valores da temperatura relativa do ar; ▪ Aumento dos valores da umidade relativa do ar; ▪ Aumento da pressão atmosférica e das precipitações; ▪ Alteração no quadrante dos ventos predominantes (vem de outras direções e com diferentes velocidades).

Quadro 19: Comparação entre as etapas pré-frontal e pós-frontal
Fonte: Vecchia (2003)

4.2.4 Análise dos dados climáticos obtidos em superfície

Os dados climáticos obtidos em superfície por estações meteorológicas fazem registros anuais, diários, horários e em frações de horas. Assim, são registrados valores com informações sobre a temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global incidente, pluviosidade, direção e velocidade dos ventos predominantes.

As análises dos dados climáticos levam em consideração o vigor, a intensidade e a duração dos sistemas atmosféricos dominantes durante o período de estudo. Os períodos de verão e inverno proporcionam maiores situações de estresse térmico, pois são quando as frentes frias apresentam, respectivamente, menor e maior rigor, em função das massas de ar dominantes.

A partir disso, é possível obter com detalhes as condições climáticas e suas repercussões no espaço edificado. Nesse sentido, os dados meteorológicos se correlacionam com os processos de trocas térmicas por condução, convecção,

radiação, evaporação e condensação, influenciando diretamente no comportamento térmico através das envolventes da edificação.

Todos os dados climáticos são necessários para a definição do episódio representativo do clima, por apresentarem o estado atmosférico dominante no período de análise e estarem ligados à dinâmica das massas de ar.

4.3 Definição do episódio representativo do fato climático

O entendimento do clima voltado às necessidades de sua caracterização faz-se necessário para definir e avaliar ambientes humanos. Isso implica em uma tentativa de adequar os ambientes às condições climáticas do local, através de uma especial caracterização e utilização dos dados meteorológicos, que expressam variações das condições climáticas, no tempo e no espaço.

De acordo com a Climatologia Clássica, costuma-se descrever o clima de um lugar citando-se as médias aritméticas dos dados climáticos obtidos em superfície, que são registradas em um determinado lugar. No entanto, com esse procedimento, duas regiões distintas podem ter as mesmas médias e apresentarem climas diferentes (WORLDWATCH..., 2007).

Segundo a Climatologia Dinâmica, definida pela conceituação clássica de Max Sorre, entende-se o clima como “uma série de estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual”. Assim, o autor enfatiza a noção de tempo (meteorológico), como uma unidade complexa, cheia de associações e dinâmica em essência, percebida sensorialmente e passível de ser arbitrária, abstrata,

decomposta e medida nos diferentes elementos que a constituem (MONTEIRO, 1976).

A perspectiva dinâmica da atmosfera, como meio de entendimento dos espaços regionais, substitui as médias utilizadas pela climatologia clássica pelo ritmo. Paradigma Sorreano, o ritmo exprime “não mais a distância quantitativa dos valores sucessivos, mas o retorno mais ou menos regular dos mesmos estados”. Em outras palavras, é o encadeamento sucessivo e contínuo dos estados atmosféricos e suas articulações, no sentido de retorno aos mesmos estados. É o fundamento causal que possibilita a organização biológica e antrópica dos espaços, sendo intrínseco à natureza física da atmosfera (MONTEIRO, 1976).

Nesse sentido, a mais importante contribuição da abordagem dinâmica relaciona-se à introdução do ritmo, reflexo imposto pelos elementos climáticos no balanço térmico das edificações, que se traduz através de sensações térmicas extremas, de forma ritmada e cíclica, ao longo do tempo.

Com base no ritmo climático foram definidos conceitos para a caracterização climática regional e, portanto, critérios destinados à obtenção de séries de dados meteorológicos baseados em episódios representativos do fato climático.

A interpretação do fato climático se traduz através dos elementos do clima, tomados de acordo com as condições atmosféricas, respeitando os fatores geográficos de modificação e traduzidos sob adequada escala de abordagem, no tempo e no espaço.

O que diferencia os episódios uns dos outros é a intensidade e a duração de cada massa de ar que predomina sobre o local, tornando mais ou menos vigorosa a sua atuação sobre uma dada região, fato que diretamente se reflete no registro dos elementos climáticos tomados em superfície (dados meteorológicos).

Portanto, ocorre uma variação sucessiva e encadeada nos valores dos elementos climáticos que, mesmo quando adquiridos de maneiras separadas, permitem a definição de um estado geral da atmosfera, principalmente, quando se adota um período amostral, correspondente à penetração e predomínio de uma massa polar.

Os períodos de observação tomados dessa forma representam o tipo de tempo, através de uma única seqüência relativa a cada massa polar que penetra com características próprias e de particular vigor e duração, na medida em que avança e predomina sobre o local.

Para cada tipo de tempo, analisa-se a ação dos dois principais períodos considerados críticos para percepção térmica, que se caracteriza pela fase pré-frontal e pós-frontal. É importante ressaltar que, os estados atmosféricos pré e pós-frontais se alteram de acordo com cada estação do ano, apresentando distintas combinações atmosféricas, diretamente relacionadas com o conjunto dos elementos do clima.

Dessa forma, os episódios expressam períodos críticos em relação às sensações térmicas impostas pelas excitações do clima, que uma região pode estar submetida.

A maior contribuição dos episódios representativos é de aliar os mecanismos da circulação atmosférica e suas conseqüências no espaço geográfico aos valores obtidos através do monitoramento climático de dados meteorológicos, tomados em superfície e traduzidos analiticamente pelos registros de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade dos ventos, pressão atmosférica, índices pluviais e valores da radiação solar.

Assim, os episódios fornecem subsídios para a avaliação do comportamento térmico nos ambientes internos das edificações, analisados em curtos períodos de tempo cronológico, sem perder a precisão e a representatividade dos dados registrados.

4.4 Avaliação do comportamento térmico dos sistemas de cobertura

Dois parâmetros podem ser utilizados na análise experimental para a avaliação do comportamento térmico dos distintos sistemas de cobertura: os registros dos valores das temperaturas superficiais internas e das temperaturas do ar interno.

Os valores registrados para as temperaturas internas do ar traduzem as influências impostas nas superfícies das células de teste, de forma determinante pela ação térmica incidente na superfície que compõe os sistemas de cobertura. Assim, as paredes das células de teste, por se tratar de edificações térreas, não contribuem de forma significativa para os ganhos térmicos interiores.

A análise do comportamento térmico das células de teste é realizada com informações provenientes de medições feitas com termopares, no período escolhido do episódio representativo do clima e armazenadas em um sistema de aquisição automática de dados.

A partir do registro dos dados térmicos referente às edificações em estudo, transformam-se os arquivos obtidos em tabelas e, posteriormente, os valores contidos nessas tabelas são transformados em gráficos, para melhor informação visual e entendimento das variações das temperaturas medidas.

Por fim, são avaliados dois parâmetros relacionados à inércia térmica dos componentes construtivos, o amortecimento térmico no interior das edificações, que é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas, proporcionado pela composição dos sistemas de cobertura e o atraso térmico, que é o tempo transcorrido entre a ocorrência da máxima temperatura externa e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir das medições experimentais, com base nos episódios representativos e nas devidas comparações entre o comportamento térmico dos sistemas de cobertura, segundo a seqüência metodológica proposta.

Salienta-se que, em princípio, tanto os dados climáticos meteorológicos, quanto os valores monitorados no interior das células de teste foram adquiridos e trabalhados anteriormente, pelo grupo de *Ecotecnologias: novos materiais e procedimentos*, com formação no ano de 2002.

5.1 O episódio representativo e o dia típico experimental

De acordo com a necessidade da análise climática voltada ao comportamento térmico, determina-se a fase mais adequada a realização do experimento. Em relação ao presente estudo, a escolha da fase foi em um período bem quente e seco, transição primavera-verão, pois o desconforto térmico na maior parte dos dias na cidade de São Carlos provém das altas temperaturas e da baixa umidade.

Segundo o Boletim Climanálise (2006), no mês de outubro de 2004 a atuação das frentes frias foi maior no sudoeste do Estado de São Paulo, onde o total pluviométrico acumulou superou a média histórica em até 100mm. As temperaturas ficaram acima da média em grande parte dos setores norte e central do Brasil. No norte da Região Sudeste, os valores das temperaturas máximas excederam a média histórica em mais de 3°C.

A primeira massa de ar fria atuou entre os dias 03 e 08, e esteve associada ao último sistema frontal do mês de setembro. O período de atuação da segunda e terceira massa de ar frio foi muito curto, aproximadamente dois dias cada, o que foi consistente com a alta frequência das frentes frias entre os dias 09 e 16 (CLIMANÁLISE, 2006).

O mês de outubro de 2004 caracterizou-se pelo avanço de três sistemas atmosféricos que atuaram sobre a região de São Carlos. O período mais perceptível ficou entre os dias 04 e 10 de outubro, que foi escolhido como o episódio representativo do fato climático.

Os dias do episódio representativo expressam claramente as etapas pré-frontais e pós-frontais, qualificando-se como um episódio entre duas frentes frias atuantes no município de São Carlos. A escolha se deu na fase de prenúncio e de avanço de uma massa Polar Atlântica (mPA), uma vez que nessas situações (antes do avanço) ocorre um sobre-aquecimento do ar na região a ser penetrada pela frente, elevando os valores da temperatura do ar externo e ocorrendo uma conseqüente diminuição nos valores da umidade relativa do ar.

A partir do dia 04 de outubro, sob o domínio de uma massa Polar de fraca intensidade, inicia-se sua fase de tropicalização¹⁵. Nos dias subseqüentes ocorre a

¹⁵ Caracteriza-se por uma fase, onde a massa de ar atuante perde as suas características polares e começa se aquecer, com isso, perde-se o seu rigor térmico de frio (VECCHIA; MIMBACAS, 2006).

formação de uma massa Tropical, de característica quente e seca, até atingir o seu ápice no dia 09 de outubro, que antecede a penetração de uma nova frente fria.

A figura 32 apresenta informações gráficas sobre as máximas temperaturas do período que compreende os dias 04 a 10 de outubro (episódio representativo).

Figura 32: Temperaturas máximas do ar externo durante o episódio representativo do fato climático (04 a 10 de outubro de 2004)
Fonte: Vecchia (2005)

Os dias posteriores ao episódio escolhido não foram considerados, por não apresentarem interesse para o presente estudo sobre o comportamento térmico de distintos sistemas de cobertura. Isso porque, os dias subseqüentes se caracterizam pela diminuição dos valores da temperatura do ar externo e do conseqüente aumento dos valores da umidade relativa do ar externo às edificações.

A figura 33 apresenta a seqüência das imagens do satélite GÓES (CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC, 2006) nos dias 04

a 11 de outubro de 2004. Evidencia-se assim, de forma ilustrativa, a seqüência do domínio das massas de ar sobre a região do Estado de São Paulo nesse período.

Figura 33: Imagens de satélite (GÓES) no período de 04 a 11 de outubro 2004
Fonte: Cptec (2006)

Foi apresentado o dia 11 de outubro, juntamente com os dias do episódio representativo para mostrar a seqüência do domínio da massa Polar, que teve no dia 10 de outubro (Imagem G) sua fase de avanço. O quadro 20 faz uma correlação entre as imagens de satélite e a dinâmica atmosférica predominante, apresentando suas respectivas fases, as máximas e mínimas temperaturas registradas, bem como suas amplitudes térmicas.

DESCRIÇÕES		t máx ext (°C)	t min ext (°C)	Amplitude (°C)
Imagem A 04/10	Domínio de uma massa Polar com reduzido vigor térmico.	25,1	14,4	10,7
Imagem B 05/10	Domínio da massa Polar e início de sua fase de tropicalização. A massa perde vigor e, por isso, diminui a intensidade de suas propriedades características iniciais.	28,1	13,6	14,5
Imagem C 06/10	Fase de transição, isto é, tem início o processo de tropicalização da massa Polar, que aos poucos, vai se convertendo em uma massa quente de caráter Tropical.	25,5	13,5	12,0
Imagem D 07/10	Prenúncio: nova frente vinda sul do país se aproxima. A massa Polar em fase de tropicalização perde vigor térmico. Ao sul, observa-se uma nova frente fria que deve avançar sobre latitudes menores, provavelmente atingindo a região de São Carlos (SP).	24,3	10,4	13,9
Imagem E 08/10	Prenúncio de uma frente fria que, neste momento, inicia a sua trajetória em direção à região de São Carlos (SP). Dia em que ocorre o denominado aquecimento pré-frontal, conforme pode ser verificado pelo valor da temperatura máxima registrada.	28,8	10,5	18,3
Imagem F 09/10	Pré-frontal e início do avanço da frente fria tendo em sua retaguarda uma massa Polar Atlântica.	34,04	12,7	21,4
Imagem G 10/10	Avanço sobre a região de São Carlos e início das alterações nas condições do tempo.	29,7	17,3	12,4
Imagem H 11/10	Início do domínio de massa Polar que, nesse dia, cobre todo o Estado de São Paulo.	-	-	-

Quadro 20: Descrição das imagens de satélite (GÓES)
Fonte: Vecchia (2005)

Particularmente, a esse episódio climático adotado para a cidade de São Carlos, os valores da temperatura do ar externo atingiram elevados índices. O dia 09 de outubro se caracterizou por um sobre-aquecimento, comum nos dias e momentos

que antecedem à penetração de uma frente fria (massa Polar Atlântica), onde sua temperatura chegou a 34,04°C (Figura 34). Consequentemente, o valor de sua amplitude térmica foi um dos maiores, chegando a 21,4°C, devido à diferença do valor da temperatura mínima do ar externo (12,7°C) e o valor da temperatura máxima do ar externo (34,04°C).

Figura 34: Temperaturas máximas do ar externo durante o dia típico experimental
Fonte: Vecchia (2005)

Vale a pena ressaltar que a temperatura registrada nesse dia ultrapassou o valor das médias máximas históricas para o mês, que é de 24,7°C, conforme as Normais Climatológicas 1961-1990¹⁶. Apenas ficou abaixo da temperatura máxima absoluta do ar registrada em 12 de outubro de 1963, apresentando o valor de 36,4°C (DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1992).

¹⁶ As Normais Climatológicas se caracterizam por médias realizadas a cada 30 anos, das variáveis climáticas, pelo Departamento Nacional de Meteorologia.

Sendo assim, com base nos valores encontrados em relação à temperatura do ar referente à etapa pré-frontal e superando o valor das temperaturas médias máximas das Normais Climatológicas peculiares ao mês de outubro, o dia 09 ficou caracterizado como o dia típico experimental.

Em relação ao dia típico, um fator relevante para sua escolha deve-se, também, à sua visibilidade. Pode-se perceber na figura 35, que o dia se manteve com o céu limpo e o valor da radiação solar global chegou ao seu ápice às 12h, com 965 W/m^2 e apresentando uma parábola característica de dias sem nebulosidade.

Figura 35: Radiação solar global registrada no dia 09 de outubro 2004 (dia típico experimental)
Fonte: Vecchia (2005)

5.2 A cobertura verde leve

Para avaliar o comportamento térmico relativo à célula de teste com o sistema de CVL foram colocados os valores obtidos em forma de gráfico (Figura 36), contendo a temperatura do ar externo e interno à edificação e a temperatura superficial interna do sistema construtivo da CVL, onde todos os valores são referentes ao dia típico experimental (09 de outubro 2004).

Figura 36: Valores das temperaturas registradas no dia 09 de outubro 2004 referente às medições no interior da célula de teste com CVL (temperatura do ar e temperatura superficial do sistema construtivo) e da temperatura do ar externo

Fonte: Vecchia (2005)

Pode-se notar pelo gráfico que, às 15h30min (ANEXO D), quando o valor da temperatura máxima do ar externo é 34°C, o valor da temperatura do ar interno, no mesmo horário, registra 26,5°C. Calcula-se então, uma diferença de 7,5°C, entre a máxima temperatura externa (34°C) e a temperatura interna do ar (26,5°C).

Em relação ao valor da temperatura superficial interna da célula de teste com o sistema de CVL, também às 15h30min, foi registrado um valor de 24,4°C. Nota-se então, uma diferença de 9,6°C, entre a máxima temperatura do ar externo (34°C) e a temperatura superficial interna (24,4°C).

Percebe-se que o processo das trocas térmicas é retardado pelas camadas da CVL devido à capacidade térmica dos componentes construtivos, da ordem em que suas camadas estão dispostas, da sua massa térmica, da ação de sombreamento das vegetações, dentre outros efeitos térmicos característicos deste sistema de cobertura.

No ápice das temperaturas do ar externo (34°C) e da temperatura superficial interna (26,7°C), referente ao sistema de CVL, verifica-se uma diferença de 7,3°C. No entanto, a temperatura máxima do ar externo ocorre às 15h30min, enquanto que a máxima temperatura superficial interna acontece às 20h, ou seja, com um atraso térmico de 4h30min.

A amplitude térmica, referente aos valores da temperatura do ar externo é de 21,3°C, enquanto que a amplitude térmica dos valores da temperatura superficial do sistema de CVL é de 9,2°C (Tabela 01). Isso significa que a superfície interna da cobertura verde está amortecendo o calor transferido e, nesse sentido, contribuindo com a minimização dos valores da temperatura interna do ar.

Tabela 01: Valores de temperaturas registrados no sistema de CVL e suas respectivas amplitudes térmicas

TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUDE TÉRMICA (°C)
Temperatura do ar externo		
34	12,7	21,3
Temperatura superficial interna		
26,7	17,5	9,2
Temperatura do ar interno		
28,8	16,2	12,6

Em relação ao amortecimento térmico, obteve-se um valor de 0,4, devido ao cálculo da relação entre a amplitude da temperatura superficial interna do sistema de CVL (9,2°C) e a amplitude da temperatura do ar externo (21,3°C). Vale ressaltar que, quanto menor o seu valor, maior a capacidade de amortecimento do fechamento.

Uma relação que, também, pode ser estabelecida é comparar a influência da radiação solar global com o registro da temperatura superficial interna do sistema de cobertura. Assim, nota-se que quando a radiação solar atinge seu ápice as 12h, com o valor de 965W/m² a CVL alcança sua temperatura mais elevada as 20h.

5.3 Os sistemas de cobertura

Para analisar o comportamento térmico entre os diferentes sistemas de cobertura, comparou-se a temperatura superficial interna do sistema de CVL com as

temperaturas superficiais internas dos outros sistemas de cobertura da referida pesquisa. Para tanto, os sistemas de cobertura são: 1) telha de aço galvanizado; 2) telha de fibrocimento ondulada; 3) laje pré-moldada cerâmica (inclinada) com impermeabilização (cor branca) de resina de óleo vegetal (*Ricinus communis*); 4) telha cerâmica; 5) CVL.

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERNA DOS SISTEMAS DE COBERTURA

dia 09 de outubro 2004

Figura 37: Temperaturas superficiais internas dos cinco sistemas de cobertura em análise e a temperatura do ar externo
Fonte: Vecchia (2005)

Pode-se perceber, na figura 37, a comparação entre o sistema de CVL e os outros sistemas de cobertura (aço, fibrocimento, laje e cerâmica). Quando comparados, a maior diferença entre os horários das máximas temperaturas superficiais internas foi de 7h30min, relativo ao sistema de cobertura com telha de aço galvanizado (12h30min) e a CVL (20h).

A temperatura superficial interna da CVL contribui então, no comportamento térmico da edificação, fornecendo energia no período noturno (pois permanece com valores superiores aos registrados para a temperatura interna do ar) e, por outro lado, armazenando calor no período da tarde, quando as temperaturas do ar interno ainda se mantêm abaixo às do ar externo.

Vale ressaltar, que em comparação ao horário da máxima radiação solar (965W/m^2) registrada às 12h, a telha de aço galvanizado é a que possui menor inércia térmica, pois o ápice de sua temperatura superficial interna acontece meia hora depois (12h30min).

Todos os sistemas de cobertura apresentam temperaturas acima dos 34°C no período vespertino, exceto o sistema de cobertura com telha cerâmica e a CVL. Nesse sentido, têm-se o período de permanência das temperaturas acima dos 34°C em relação aos respectivos sistemas de cobertura:

- Telha de aço galvanizado – 9h às 18h
- Telha de fibrocimento – 10h30min às 18h30min
- Laje pré-moldada cerâmica – 12h30min às 20h30min

Saliente-se que, em média, a temperatura da pele normalmente se encontra na faixa dos 31 a 34°C , o que significa que, se a temperatura superficial interna do fechamento for maior do que estes valores, o organismo humano passa a ganhar calor por radiação. Logo, as superfícies dos sistemas de cobertura que apresentam valores superiores a essa faixa de temperatura estarão trocando calor por energia radiante com todos os ocupantes dos recintos internos às edificações.

Ao contrário dos demais sistemas de cobertura, a CVL não atinge os 34°C nas mesmas condições dos outros sistemas, uma vez que sua temperatura superficial interna máxima, verificada experimentalmente, foi de $26,7^\circ\text{C}$.

A amplitude térmica da CVL é de 9,2°C, com temperatura superficial interna mínima igual 17,5°C (na madrugada) e temperatura superficial interna máxima igual 26,7°C (no início da noite por volta de 20h). Portanto, quando comparada com os demais sistemas de cobertura, a CVL apresenta a menor amplitude térmica e, conseqüentemente, confere o melhor comportamento térmico (Tabela 02).

Tabela 02: Valores das temperaturas superficiais internas, nos distintos sistemas de cobertura analisados, com suas respectivas amplitudes e amortecimentos térmicos

SISTEMAS DE COBERTURAS		TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS		AMPLITUDE TÉRMICA (°C)	AMORTECIMENTO TÉRMICO
		MÁXIMAS (°C)	MÍNIMAS (°C)		
01	Aço Galvanizado	57,8	9,8	48,0	2,3*
02	Fibrocimento	48,6	9,5	39,1	1,8*
03	Laje pré-moldada cerâmica	45,0	11,5	33,5	1,6*
04	Cerâmica	32,8	12,5	20,3	0,9
05	CVL	26,7	17,5	9,2	0,4

* O amortecimento térmico não se aplica nesses casos devido a forte influência da radiação solar nestes sistemas de cobertura.

Para tanto, nota-se que a CVL é o sistema de cobertura que apresenta a maior inércia térmica e, conseqüentemente, o maior amortecimento térmico, quando comparado aos outros sistemas de cobertura.

Depois do sistema de CVL, o outro sistema de cobertura que apresenta menor amplitude térmica é o de telhas cerâmicas. Segundo Bueno, Lamberts e Philippi (2007), isso se deve a capacidade da cerâmica de fixar umidade (possui

poros facilmente preenchidos por líquidos), ganhando energia por calor latente através da condensação à noite e perdendo energia, também, por calor latente através da evaporação de dia. Além disso, é a única célula de teste que possui forro (laje pré-moldada cerâmica), o que contribui com uma maior atenuação nos valores das temperaturas superficiais internas.

Tabela 03: Valores do atraso térmico dos distintos sistemas de cobertura analisados

SISTEMAS DE COBERTURA		HORÁRIO DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS SUPERFICIAIS INTERNAS	ATRASSO TÉRMICO
01	Aço Galvanizado	12h30min	- 3h*
02	Fibrocimento	13h	- 2h30min*
03	Laje pré-moldada cerâmica	16h	30min
04	Cerâmica	15h30min	0*
05	CVL	20h	4h30min

* O atraso térmico não se aplica nesses casos devido a forte influência da radiação solar nestes sistemas de cobertura.

As temperaturas internas do ar permitem, juntamente, com as temperaturas superficiais, estimar o comportamento térmico dos ambientes internos às edificações (Figura 38). Ressalta-se, no entanto, que a contribuição mais precisa e significativa é em relação à análise do comportamento das temperaturas superficiais internas, devido a forte influência da radiação solar global incidente na superfície dos sistemas de cobertura.

TEMPERATURA DO AR EXTERNO E INTERNO ÀS CÉLULAS DE TESTES

dia 09 de outubro 2004

Figura 38: Temperatura do ar interno e externo às células de teste com diferentes sistemas de cobertura
 Fonte: Vecchia (2005)

Pode-se verificar que pelas temperaturas internas do ar, o comportamento térmico mais adequado, também, cabe ao sistema de CVL, que apresentou a menor amplitude térmica (12,6°C), quando comparado à amplitude térmica dos outros sistemas de cobertura.

Em comparação aos outros sistemas de cobertura a telha de aço galvanizado foi a que mais oscilou a sua temperatura máxima e mínima, chegando a uma amplitude térmica de 20,1°C (Tabela 04).

Tabela 04: Valores das temperaturas do ar interno nos distintos sistemas de cobertura do experimento, com suas respectivas amplitudes térmicas

SISTEMAS DE COBERTURA		TEMPERATURAS DO AR INTERNO		AMPLITUDE TÉRMICA (°C)
		MÁXIMAS (°C)	MÍNIMAS (°C)	
01	Aço Galvanizado	33,7	13,6	20,1
02	Fibrocimento	31,0	14,4	16,6
03	Laje de Concreto	32,4	15,0	17,4
04	Cerâmica	28,7	15,0	13,7
05	CVL	28,8	16,2	12,6

Comparando o valor da máxima temperatura interna do ar (28,8°C) com a máxima temperatura externa do ar (34°C) obtêm-se um valor de 5,2°C. Nota-se que em relação à máxima temperatura do ar interno, o valor registrado fica abaixo dos valores da variação da temperatura superficial da pele (31°C a 34°C), sem a aplicação de sistemas passivos ou mesmo de condicionador de ar eletro-mecânico.

Observa-se que no ápice da temperatura do ar externo (34°C), às 15h30min, o sistema de CVL apresenta um valor de 26,5°C em relação à temperatura interna da edificação. Só às 19h é que atinge sua máxima temperatura, com um registro de 28,8°C, apresentando assim um atraso térmico de aproximadamente 3h30min (diferença dos horários de registro das máximas temperaturas do ar interno e externo).

A tabela 05 evidencia o horário de ocorrência das máximas temperaturas do ar interno dos distintos sistemas de cobertura e seu atraso térmico em relação ao horário da máxima temperatura do ar externo.

Tabela 05: Atraso térmico dos distintos sistemas de cobertura analisados em relação à temperatura do ar externo

Sistemas de cobertura		Horário das temperaturas máximas do ar interno	Atraso térmico
01	Aço Galvanizado	16h30min	1h
02	Fibrocimento	17h30min	2h
03	Laje de Concreto	17h	2h30min
04	Cerâmica	17h	2h30min
05	CVL	19h	3h30min

Em relação aos horários de registro das máximas temperaturas, têm-se uma diferença de 1h entre o horário da máxima temperatura do ar externo (15h30min) e o horário da máxima temperatura do ar interno com o sistema de aço galvanizado (16h30min), já em comparação ao horário da máxima temperatura do ar interno, também, com o sistema de aço galvanizado e o horário da máxima temperatura do ar interno do sistema de CVL (19h), tem-se uma diferença de 2h30min.

6 CONCLUSÃO

Em comparação às diversas formas de se projetar coberturas verdes, segundo fundamentação teórica pesquisada, a CVL enquadra-se no grupo de coberturas verdes que, efetivamente, conferem um baixo peso à estrutura da edificação. No entanto, em países onde essa tecnologia é desenvolvida há muitos anos têm-se sistemas industrializados de coberturas com camadas mais estreitas de substrato e vegetação, como por exemplo, as esteiras de plantas suculentas.

Com referência às medições experimentais realizadas na CVL chegou-se a conclusão de que o bom comportamento térmico deste sistema está relacionado, principalmente, à capacidade de inércia térmica da camada do substrato. Nesse sentido, o calor transmitido por radiação solar (principal fonte dos ganhos térmicos) é transferido gradativamente para o interior da edificação, não acompanhando de forma imediata, as variações externas da temperatura do ar, além de diminuir as oscilações de temperatura no sistema construtivo.

Dessa forma, o estudo do comportamento térmico comprovou por meio de medições experimentais e com referência aos dois parâmetros relativos à inércia térmica (atraso e amortecimento térmico), que a CVL:

- Conferiu um atraso térmico de 4h30min, devido à diferença de horários das máximas temperaturas registradas, entre a temperatura do ar externo, com registro às 15h30min, e a temperatura superficial interna, com registro às 20h.
 - A amplitude térmica do sistema de cobertura foi menor do que a amplitude do ar externo e interno à célula de teste.
-

- O amortecimento térmico registrado, devido a propriedade o sistema de CVL em diminuir a amplitude das variações térmicas, foi de 0,4, pois trata-se da relação entre a amplitude da temperatura superficial interna da CVL pela amplitude da temperatura do ar externo.

Cabe ressaltar que a superfície vegetal também contribui para a atenuação térmica no interior da edificação, devido aos mecanismos de evapotranspiração e sombreamento que as folhagens proporcionam. No entanto, não foram estabelecidas referências, na presente pesquisa, para a análise das trocas térmicas nas camadas de plantas da CVL.

Referente aos estudos comparativos entre os diferentes sistemas de cobertura, a CVL foi, também, a que obteve melhor desempenho. Foram realizados dois tipos de análises, a primeira em relação à influência da incidência solar nos valores de temperaturas encontradas na face interna dos sistemas construtivos e a segunda em relação à diferença das temperaturas do ar interno registradas nas distintas células de teste.

Sendo assim, percebeu-se que a análise comparativa das temperaturas do ar interno, somente, não é suficiente ao ponto de definir o melhor comportamento térmico dos sistemas de cobertura. Fez-se necessário a avaliação do comportamento térmico, tanto das temperaturas superficiais internas dos sistemas de coberturas, quanto da temperatura do ar interno às células de teste. Mas, no entanto, as contribuições mais relevantes do estudo foram aquelas relativas à análise comparativa das temperaturas superficiais internas, devido à grande influência da radiação solar incidente nos distintos sistemas de cobertura.

A telha de aço galvanizado foi a que mais apresentou oscilações térmicas, seguida pela telha de fibrocimento, laje pré-moldada cerâmica, telha cerâmica e por fim, a CVL. A análise das amplitudes térmicas indica uma maior ou menor capacidade do elemento construtivo em realizar trocas térmicas com o ambiente em que se encontra exposto. Assim, a CVL é a que evidencia essa menor capacidade de realizar trocas térmicas, não oscilando de forma significativa sua temperatura superficial interna, devido a grande inércia térmica de seu fechamento. Dessa forma, apresentou amplitudes térmicas aproximadamente 50% menores do que as amplitudes relativas às oscilações da temperatura do ar externo.

Outro fator importante diz respeito aos horários que as temperaturas superficiais atingem seu ápice. No sistema com telhas de aço galvanizado a influência da radiação solar global é quase que imediata, absorvendo assim, muito calor no período vespertino, quando a temperatura do ar externo e a radiação solar se encontram mais elevadas. Já em relação ao sistema de CVL, o calor absorvido apresenta sua máxima temperatura na superfície oposta da envolvente no período noturno, quando a temperatura do ar externo é menor do que a do ar interno.

Em relação ao amortecimento térmico, somente a cobertura com telha cerâmica e a CVL conferem uma diminuição no registro dos valores das temperaturas superficiais internas por meio de seus fechamentos. Os outros três sistemas de coberturas têm suas temperaturas acima da máxima temperatura do ar externo, devido à influência da radiação solar incidente.

A CVL e a cobertura cerâmica, também, foram os únicos sistemas de cobertura que mantiveram suas temperaturas superficiais internas abaixo dos 34°C, lembrando que a temperatura da pele humana possui uma variação que vai dos

31 °C aos 34 °C. A partir desses valores o corpo começa a ganhar calor em forma de energia radiante.

Nesse contexto, conclui-se que o sistema de CVL apresentou um bom comportamento térmico de seu sistema construtivo frente às variações térmicas externas. Demonstrou, também, o melhor comportamento térmico quando comparado a outros sistemas de coberturas.

Por ser um sistema construtivo que estrutura sobreposições de camadas, as coberturas verdes conferem inúmeras possibilidades para aplicação de diferentes materiais e tecnologias. Nesse sentido, trata-se de um sistema de cobertura facilmente adaptável a distintos lugares, pois utiliza materiais característicos das regiões em que possa estar inserido.

Constitui-se, portanto, de alternativa viável tanto do ponto de vista construtivo quanto do ponto de vista térmico, além de ser adaptável às referências relativas ao ambiente em que se encontra. Contribui, também, com o aumento de áreas verdes nas cidades em cima das edificações, conferindo, nesse sentido, uma segunda função para a superfície das coberturas.

A pesquisa sobre coberturas verdes é bem ampla, por estruturar-se em diversas possibilidades de projetos e elementos construtivos, bem como para contemplação dos benefícios que o sistema proporciona. Dessa forma, muitas outras pesquisas podem ser desenvolvidas em relação ao estudo das coberturas verdes para avaliar cientificamente suas reais contribuições, tais como:

- Estudo das diferentes formas de se impermeabilizar a superfície de uma cobertura verde, prezando por alternativas que levem em consideração a durabilidade e a resistência à perfuração por raízes, bem como as questões ambientais;
-

- Pesquisa sobre diferentes composições de substratos, no sentido de contemplar uma boa drenagem ao sistema, fornecimento de nutrientes e manutenção da umidade;
 - Estudo de espécies vegetais que melhor se desenvolvam na superfície das coberturas com diferentes espessuras de substratos, levando em consideração as características microclimáticas em que se encontram;
 - Pesquisa em relação à viabilidade econômica e vida útil do sistema construtivo, em comparação aos sistemas de coberturas amplamente utilizados no Brasil;
 - Estudo sobre a contribuição do sistema de cobertura no retardo do fluxo das águas pluviais e sua viabilidade para implementação na escala urbana.
 - Estudo sobre a influência das políticas públicas no que se refere à difusão e fomento desse sistema de cobertura;
 - Pesquisa sobre contribuições à biodiversidade local que as coberturas verdes podem proporcionar.
-

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. (2006). Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: _____. (Org.). **Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul – experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2.ed. São Paulo: EDUSP.
- ABREU, R.L. (2006). **Map locator of São Paulo's: São Carlos microregion**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:SaoPaulo_Micro_SaoCarlos.svg> Acesso em: 13 de abr. 2007.
- ACKERMAN, J. (2006). Espaço para a alma. **National Geographic Brasil**, São Paulo, n.79, p.90–95, out.
- ANES, A.A.A. (2007). **A influência da massa e da exposição solar no comportamento térmico dos edifícios**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Disponível em: <www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/civil/110.pdf>. Acesso em: 15 de mar. 2007.
- ARAÚJO, C. (1982). **Transmissão de calor**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos. p.442.
- ASHRAE Handbook fundamentals. (1993). Atlanta: ASHRAE.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). **NBR 15220-1. Desempenho Térmico de Edificações** - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Jan.
- BASS, B.; BASKARAN, B. (2001). **Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas**. Canada: Institute for Research in Construction. p.106. (NRCC-46737).
- BENEDITO, A.; CORRADINI, M. (2007). **Suculentas**. Disponível em: <<http://www.botanica.bio.br/tiki-index.php?page=Suculentas>>. Acesso em: 26 de mar. 2007.
- BREUNING, J. (2007). **Fire & wind on extensive green roofs**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Green Roof Service.
- BRITISH COLUMBIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. (2006). **Centre for the Advancement of Green Roof Technology**. A polytechnic institution. Disponível em: <www.greenroof.bcit.ca>. Acesso em: 14 set. 2006.
- BUENO, A. D.; LAMBERTS R.; PHILIPPI P.C. (2007). **Higroscopicidade em telhas de cerâmica : efeitos sobre o comportamento térmico**. Núcleo de Pesquisa em Construção. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~bueno/Artigos/104-HigroscopicidadeTelhasCeramica.pdf>>. Acesso em: 02 de jul 2007.
- BURGESS, H. (2004). **An Assessment of the potential of green roofs for bird conservation in the UK**. Brighton: The University of Sussex. Disponível em: <<http://www.livingroofs.org/images/BirdsOnRoofs.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- CARTER, T.; JACKSON, C.R. (2006). Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.80, n.1/2, p.84-94, Mar.
- CHIERICE, G. O. (1994). Resina ganha premio de tecnologia. **O Estado de São Paulo**, Nacional, 01 out.
- CLIMANÁLISE (2006). **Climanálise - boletim de monitoramento e análise climática**. INPE/CPTEC. Cachoeira Paulista – SP. v.19, n.10, out. 2004. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>> . Acesso em: 21 de jul. 2006.
- CONNELLY, M. (2005). **Summary of Data Analysis**. Centre for the Advancement of Green Roof Technology. British Columbia Institute of Technology. Report to Canada Mortgage and Housing Corporation. BCIT Green Roof Research Program, Phase 1. Jan/Dec.

CONNELLY, M.; LIU, K. (2005). Green roof research in British Columbia – an overview. In: ANNUAL GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES CONFERENCE, 3., 2005, Washington. **Proceedings...** Canada: Green Roofs for Healthy Cities. p.1-17.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. (2003). **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan.

COSTA, E.C.C. (1982). **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blücher. p.264.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. (2006). **Divisão de satélites e sistemas ambientais**. Disponível em:<http://satelite.cptec.inpe.br/antiores/goes_ant.htm>. Acesso em: 21 jul. 2006.

CUNHA, A.P.S.R. (2004). Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 12., 2004, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: USP. 1 CD-ROM.

DALEY, R.M. (2006). **A Guide to rooftop gardening** - from the city of Chicago. Disponível em: <<http://www.icma.org/upload/library/2003-06/%7BEC554F94-5F6D-4536-BA9A-2B7A0D0158D1%7D.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2006.

DEL BARRIO, E.P. (1998). Analysis of the green roof cooling potential in buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.27, n.2, p.179-193, Apr.

DISNDALE, S.; PEAREN, B.; WILSON, C. (2006). **Feasibility study for green roof application on queen's university campus**. Kingston: Queen's Physical Plant Services. p.58.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (1992). **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária; Secretaria Nacional de Irrigação. p.84.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. (2003). **Green Roofs – Up on the roof**. Landscape Design. p. 35-38. June.

DUNNETT, N. (2007). **Review of green roof plants**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Department of Landscape, University of Sheffield.

DVORAK, B.; FLEUR, M.L. (2006) **The Emerging Culture of Green Roof Technology**. ASLA. Disponível em: < www.asla.org/meetings/am2003/educationsessions/friday_1015_1145.htm>. Acesso em: 30 de mar. 2006.

EMBRAPA (2006). **Brasil Visto do Espaço**. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 04 nov. 2006.

EMILSSON, T.; ROLF, K. (2005). Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v.3, n.2, p.103-111, Jan.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. (1988). **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel. p.228.

GEDGE, D.; KADAS, G. (2005). Green roofs and biodiversity. **Biologist**, v.52. n.3. p.161-169. Disponível em:<<http://www.iob.org/downloads/880.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2006.

GETTER, K.L.; D. ROWE, B. (2006). The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. Michigan State University, Department of Horticulture. **Hortscience**. Plant & Soil Sciences Bldg La. p.1276-1285.

GIVONI, B. (1976). **Man, climate and architecture**. 2.ed. London: Applied Science.

- GONÇALVES, J.C.S.; DUARTE, D.H.S. (2006). **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Ambiente Construído: Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez.
- GOODWIN, S; CATANI, M. (1979). **The effect of mass on heating and cooling loads and on insulation requirements of buildings in different climates**, ASHRAE Transactions, v.85, n.1, p.869-884.
- GRANJA, A.D. (2002). **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de engenharia civil. Campinas-SP. Fev.
- GRANT, G. et al. (2003). **Green roofs**; their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. London: Ecoschemes.
- GREEN INFRASTRUCTURE. (2005). Sustainable design guidelines reference manual. World Trade Center redevelopment projects. Croxton: Collaborative Architects.
- GREEN ROOFS (2006). **Research advice note**. Corporation of London. British Council for Offices. Disponível em: < www.greenroofs.com/pdfs/sg-green_roofs_advice_note_corpoflondon.pdf > Acesso em: 24 de abr. 2006.
- GREEN ROOFS: Benefits and cost implications (2004). Livingroofs.org in association with ecology consultancy. Birmingham City Council. Disponível em: <<http://www.sustainableeastside.net/Green%20Roofs%20Report%202.07.05.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2006.
- GREEN ROOF CONFERENCE (2006). **What can green roofs do for you?** University of Sheffield and Livingroofs.org. Disponível em: <<http://www.shef.ac.uk/landscape/greenroof/index.htm>>. Acesso em: 27 mar. 2007.
- GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES NORTH AMÉRICA (2005). **Organization background and objectives**. Disponível em: <<http://www.greenroofs.net>>. Acesso em: 22 mar. 2007.
- GREEN ROOFS GOES TO WASHINGTON (2005). **Category: Intensive Industrial/Commercial**. Disponível em: <<http://www.greenroofs.org/washington/index.php?page=millenium>>. Acesso em: 25 mai 2007.
- GREGORY C.; LONG, R.L.A. (2006). **Envisioning a “greenroof” policy for the district of Columbia**. Implementing strategies to encourage alternative stormwater best management practices. Disponível em: <<http://www.greenroofs.com/pdfs/guest-GregLong906.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2006.
- HENDERSON, B. (2003). **Human-driven extensive greenroof design**. Virginia: Virginia Polytechnic Institute; State University; Master of Landscape Architecture.
- HORBERT, M. et al. (1982). **Ecological Contributions to Urban Planning**. Blackwell, Oxford. p. 255–75.
- HURSTWIC. (2007). **Hurstwic website**. Disponível em: <http://www.hurstwic.org/history/articles/daily_living/text/Turf_Houses.htm> Acesso em: 01 jun. 2007.
- INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION (2006). **Green roofs policies**. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/green-roof-policies/index.html>>. Acesso em: 13 nov. 2006.
- JOHNSTON, A. (2007). **Global green roof industry network launched in Berlin**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Green Roofs for Healthy Cities.
- JOHNSTON, J.; NEWTON, J. (2004). **Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements**. London: Greater London Authority.
-

JONES, R.A. (2002). **Tecticolous invertebrates** - a preliminary investigation of the invertebrate fauna on ecoroofs in urban London. London: English Nature. Disponível em: <<http://www.livingroofs.org/NewFiles/Tecticolous%20Insects.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2006.

KANE, R. (2004). **The Green fuse**: using plants to provide ecosystem services. Silverton: Oregon Garden; Sustainable Plant Research and Outreach.

KOENIGSBERGER, et al. (1980). **Manual of tropical housing and building**. Part 1 – Climatic desing. London: Longman group limited. p.320.

KOEPPEN, W. (1948). **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Econômica.

KREBS, L.F. (2005). **Coberturas vivas extensivas**: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

KREITH, F. (1973). **Princípios da transmissão de calor**. Ed. Edgard Blücher. Instituto nacional do livro. MEC. p.747.

LAAR, M. et al. (2001). Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NA AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP. p.361-368.

LA COQUILLONNERIE (2007). Disponível em: <www.la-coquillonnerie.fr/english/situation.php>. Acesso em 01 jun. 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. (1997). **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW. p.192.

LAWLOR, G. (2006) **Green Roofs**: A Resource Manual for Municipal Policy Makers. Canada Mortgage and Housing Corporation. May. p.126.

LAZZARIN, R.M.; CASTELLOTTI, F.; BUSATO, F. (2005). Experimental measurements and numerical modeling of a green roof. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.37, n.2, p.1260–1267, Dec.

LEVALLIUS, J. (2005). **Green roofs on municipal buildings in Lund - Modeling potential environmental benefits**. Geobiosphere Science Centre. Physical Geography and Ecosystems Analysis. Lund University.

LIMA, M.P. (2005). **Comportamento crítico de Coberturas Verdes Leves CVL's**. Relatório final PIBIC. São Carlos-SP. p.35.

LIU, B.; BASKARAN, B. (2003). **Green roof infrastructure – technology demonstration, monitoring and market expansion project**. Part 1: Field monitoring and technical analysis. National Research Council - Institute for Research in Construction. Jun.

LORENZI, H.; SOUZA, M.H. (2001). **Plantas ornamentais no Brasil**: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum.

LUFT, C. P. (1995). **Minidicionário LUFT**. Editora Ática S.A. Ed. 10. São Paulo - SP.

MACCAFERRI (2006). **Geocomposto para drenagem MacDrain®**. Disponível em: <<http://www.maccaferri.com.br/pagina.php?pagina=3150&idioma=0>>. Acesso em: 14 de mar. 2006.

MACHADO, M.; BRITO, C.; NEILA, J. (2003). Comportamiento térmico en modelos con cubiertas ecológicas. **Tecnología y Construcción**, Caracas, v.19, n.3, p.49-58.

MAKING GREEN ROOFS HAPPEN (2005). **Learning from international leaders in green roof policy**. Disponível em: <http://www.toronto.ca/greenroofs/pdf/makingsection2_nov16.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2006.

MAGALHÃES, S. et al. (2002). **Termorregulação**. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. Serviço de Fisiologia. p.20.

MARTIN, A. (2005). **Green roof manual**. How to replace your dead roof with a living landscape. AmeriCorps community action project. p.17.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. (2005). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21 st century? **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.77, n.3, p.217–226, Aug.

MINKE, G. (2003). **Techos verdes**. planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo: Fin de Siglo.

MONTEIRO, C.A.F. (1973). **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo** – Estudo geográfico sob forma de Atlas. São Paulo. Instituto de Geografia – Universidade de São Paulo. p.129.

_____. (1976). **Teoria e clima urbano**. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.

MORAIS, C.S. (2004). **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

MORAIS, C.; RORIZ, M. (2003). Comparação entre desempenhos térmicos de cobertura ajardinada e laje comum em guaritas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7./CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** [S.l.:s.n.]. p.361-368.

MULTNOMAH BUILDING GREEN ROOF (2003). **Bureau of environment services (BES)**. Disponível em: <<http://www.portlandonline.com/shared/cfm/image.cfm?id=78291>>. Acesso em: 25 out. 2006.

NIACHOU, A. et al. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy and Building**, Lausanne, v.33, n.3, p.719-729, Sept.

NGAN, G. (2004). **Green roof policies: tools for encouraging sustainable design**. Landscape Architecture Canada Foundation. Disponível em: <<http://www.gnla.ca/assets/Policy%20report.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2006.

OBERLANDER, C. H.; WHITELAW, E; MATSUZAKI, E. (2002). **Introductory manual for greening roofs for public works and government services Canada**. Public works and government services Canada.

OLGYAY, V. (1998). **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, S.A. p.203.

PAPST, A.L. (1999). **Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, p.165. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

PECK, S. (2007). **Minneapolis - The City of Lakes Awaits and Our Accreditation Program Leaps Forward**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Green Roofs for Healthy Cities.

PECK, S.; KUHN, M. (2006) **Design guidelines for green roofs**. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>>. Acesso em: 30 out. 2006.

PECK, S.W. et al. (1999). **Greenbacks from green roofs**: forging a new industry in Canada status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion. Canada: Canada Mortgage and Housing.

PHILIPPI, P.M. (2006). How to get cost reduction in green roof construction. In: ANNUAL GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES CONFERENCE, AWARDS AND TRADE SHOW, 4., 2006, Boston. **Proceedings...** Boston: Green Roofs for Healthy Cities. p.10.

PICCININI, V.; GAN, M.A. (2006). **Estudo de tendência das temperaturas mínimas na Região Sul do Brasil**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). São José dos Campos-SP. Disponível em: <<http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/10.20.12.32/doc/Gan.Estudo.pdf>> . Acesso em: 26 de nov. 2006.

PHOTO GALLERY. (2007). **Green Roofs for healthy Australian cities**. Disponível em: <<http://greenroofs.wordpress.com/contact-us/>>. Acesso em: 25 mai 2007.

PLANILHA DE DADOS DO LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (2006). **Registros de medições laboratório de construção civil**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

PORSCHKE, U.; KÖHLER, M. (2003). Life cycle costs of green roofs - a comparison of Germany, USA, and Brazil. In: RIO 3 - WORLD CLIMATE & ENERGY EVENT, 2003, Rio de Janeiro. [S.l.:s.n.]. p.461-467.

RIVERO, R. (1985). **Arquitetura e clima**: acondicionamento térmico natural. Porto Alegre: D.C.Luzzatto; Ed.UFRGS.

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

ROSENZWEIG, C.; GAFFI, S.; PARSHALL, L. (2006). Introduction and study methods. In: GREEN roofs in the New York metropolitan region - research report. Columbia: Columbia University; Center for Climate Systems Research; NASA Goddard Institute for Space Studies. Disponível em: <<http://ccsr.columbia.edu/cig/greenroofs/index.html>>. Acesso em: 27 out. 2006.

SAIZ, S. et al. (2006). Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. **Environmental Science & Technology**, Easton, v.40, n.3, p.4312-4316, July.

SERRA, R. (2002). **Arquitectura y climas**. Barcelona: Gustavo Gili S.A. p.94.

TALAIA, M.A.R. (2007). **O conforto humano e as alterações ambientais**: um estudo de caso em ambiente quente. Universidade de Aveiro. Portugal. Disponível em: <www.ame-web.org/JORNADAS/talaia.pdf> Acesso em: 30 de jan. 2007.

TANNER, S.; SCHOLZ-BARTH, K. (2004). **Green roofs**: federal energy management program (FEMP). Golden: Department of Energy; Energy Efficiency and Renewable Energy; National Renewable Energy Laboratory. N.DOE/EE0298.

THEODOSIOU, T.G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and Buildings**. Lausanne, v.35, n.9, p.909-917, Oct.

TILLINGER, D. et al. (2006). Hydrologic functions of green roofs in New York City. In: GREEN roofs in the New York metropolitan region - research report. Columbia: Columbia University; Center for Climate Systems Research; NASA Goddard Institute for Space Studies. Disponível em: <<http://ccsr.columbia.edu/cig/greenroofs/index.html>>. Acesso em: 27 out. 2006.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. (2006). Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação. [Sem título]. 1 fotografia, color. Disponível em: <www.icmc.usp.br/~sibgrapi/pictures.html>. Acesso em: 9 jul. 2006.

- VECCHIA, F. (1997). **Clima e ambiente construído**: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- _____. (1998). **Climate & Built Environment. Applied dynamic approach to the characterization of representative episodes of climate**. In: 15th Conference of PLEA'98, Lisbon.
- _____. (2003). **Comportamento térmico de sistemas de cobertura**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. 01. ed. São Paulo: Eternit. v. 01. 74 p.
- _____. (2005). **Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVLS)**. In: PLURIS 2005 - 1º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL, 2005, São Carlos. Anais do PLURIS 2005 - 1º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL.
- VECCHIA, F.; MIMBACAS, A. (2006). **Monitoramento do Conjunto Demonstrativo "V Centenário"**. Montevideu - Uruguai. Revista Minerva, v. 3, p. 57-68.
- VECCHIA, F.; CASTAÑEDA, G. (2006). **Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas**. Ingeniería 10 -1, p.17-23. Mar.
- VELAZQUEZ, L.S. (2005). Organic greenroof architecture: sustainable design for the new millennium. **Environmental Quality Management**, Hoboken, v.14, n.4, p.73-85, Summer.
- _____. (2006). **Ecological benefits of greenroofs** - why not mitigate the negative effects of a building's footprint with organic greenroof architecture?. Disponível em:<<http://www.greenroofs.com>>. Acesso em: 28 out. 2006.
- VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. (2003). **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. Curitiba –PR. ENCAC – COTEDI. p.1277-1284. nov.
- VUJOVIC, V.; OGUREK, D. J. (2005). **Case Study: Green Roof System**. In: School Business Affairs. Issues in education: Boosting budgets by building green - Improving student health - Environment and achievement. v. 71, n. 1, jan.
- YOSHIDA, R. (2006). Das normas em conforto térmico ao projecto de arquitectura: **Estudo de Caso para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil. Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitectura. Universidade Técnica de Lisboa.**
- WARK, C.G.; WARK, W.W. (2003). Green roof specifications and standards- establishing an emerging technology. **The Construction Specifier**, Buffalo, v.56, n.8, p. 12, Aug.
- WILSON, G. (2007). **Terraforming Australia**: a new response to climate change. Disponível em: <<http://greenroofs.wordpress.com/2007/03/29/terraforming/#more-20>> . Acesso em 25 mai. 2007.
- WONG, N.H. et al. (2003a). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Energy and Building**, Lausanne, v.38, n.3, p.261-270, Mar.
- WONG, N.H. et al. (2003b). Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. **Building and Environment**, Oxford, v.38, n.3, p.499–509, Mar.
- WONG, M. (2006). **Environmental benefits of green roofs**. Singapore: Hitchins Group.
- WORLDWATCH INSTITUTE (2007). **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU**. Biblioteca digital. Universidade Livre da Mata Atlântica. Disponível em: < http://www.wwiua.org.br/efeito_estufa_2_onu.htm >. Acesso em: 05 de mai. 2007.

ANEXOS

ANEXO A
Espécies vegetais indicadas para coberturas verdes no Rio Grande do Sul

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	ORIGEM	PORTE	SITUAÇÃO	FECHAMENTO	ÁGUA
Alho social	<i>Tulbaghia violacea</i>	E	HM	Sol	Regular	P
Aspargo pendente	<i>Asparagus sprengii</i>	E	HM	T	Bom	P
Boldo anão	<i>Plectranthus neochilus</i>	E	HM	Sol	Bom	P
Bromélias de sol	BROMELIÁCEAS em geral	N/E	A	Sol	Ruim	P
Bromélias de sombra	BROMELIÁCEAS em geral	N/E	A	Sombra	Ruim	P
Bulbine	<i>Bulbine frutescens</i>	E	HM	Sol	Bom	P
Clorofito	<i>Clorophytum comosum</i>	E	HM	½ sombra	Médio	M
Tapete inglês	<i>Polygonum capitatum</i>	E	HR	Sol	Médio	P
Hera variegata	<i>Hedera helix</i>	E	HR	Sombra	Médio	M
Hera verde	<i>Hedera canariensis</i>	E	HR	Sombra	Médio	M
Iris variegata	<i>Iris sp.</i>	E	HM	Sombra	Regular	M
Lamium	<i>Lamium maculatum</i>	E	HR	Sombra	Médio	M
Lavanda	<i>Lavandula angustifolia</i>	E	A	Sol	Ruim	P
Lisimachia	<i>Lysimachia congestiflora</i>	E	HR	½ sombra	Médio	M
Petúnia nativa	<i>Petunia axillaries</i>	N	HR	Sol	Médio	M
Piléia	<i>Pilea involucrata</i>	E	HM	T	Regular	P
Portulaca anã	<i>Lamnpranthus sp.</i>	E	HR	Sol	Bom	P
Portulaca grandiflora	<i>Portulaca grandiflora</i>	E	HR	Sol	Bom	P
Portulaca grauda	<i>Portulaca sp.</i>	E	A	Sol	Médio	P
Rosinha do sol	<i>Aptenia cardifolia</i>	E	HR	Sol	Bom	P
Sálvia mexicana	<i>Salvia leucantha</i>	E	A	Sol	Ruim	P

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	ORIGEM	PORTE	SITUAÇÃO	FECHAMENTO	ÁGUA
Sedum	<i>Sedum multiceps</i>	E	HR	Sol	Ótimo	P
Tradescância anã	<i>Callisia repens</i>	E	HR	½ sombra	Ótimo	P
Tradescantia roxa	<i>Tradescantia palida</i>	E	HR	T	Bom	P
Verbena native	<i>Verbena tenuisecta</i>	N	HR	Sol	Médio	M
Vinca variegata	<i>Vinca major</i>	E	HR	T	Médio	M
Vinca verde	<i>Vinca minor</i>	E	HR	T	Médio	M
Violetinha	<i>Santipaulia x ionantha</i>	E	HR	½ sombra	Ótimo	M
Zebrina	<i>Tradescantia zebrina</i>	E	HR	½ sombra	Bom	M

Fonte: Krebs (2005)*.

Legenda

ORIGEM:

- N (nativa)
- E (exótica)

PORTE:

- A (arbustivo)
- HM (herbáceo médio)
- HR (herbáceo rasteiro)

SITUAÇÃO:

- Sol
- Sombra
- ½ sombra
- Todas

QUANTIDADE DE ÁGUA:

- Boa
- Média
- Pouca

* Tabela desenvolvida pelo paisagista Toni Backes, para cursos e consultorias.

ANEXO B
Relatório de ensaio sobre o desempenho da resina poliuretana

Relatório de Ensaio

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Av. Trabalhador Sãocharlense, 400 - CEP: 13566-590 - Fone: (0xx16)273-9315 - FAX: (0xx16)273-9310

São Carlos, 23 de Fevereiro de 2001.

Construquil Polímeros Indústria e Comércio Ltda.
Rua Pedro José Laroca, 150 B.
V Distrito Industrial de Araraquara – SP
CEP 14808 300
Tel.: (16) 232 1552

ASSUNTO: Relatório sobre desempenho de resina poliuretana

Vimos apresentar o relatório de ensaios realizados em corpos de prova constituídos de resina poliuretana de origem vegetal, produzida por essa empresa. Foram empreendidos ensaios para a avaliação de desempenho segundo diferentes propriedades do polímero em questão, quando submetido a diferentes agentes agressivos ou condições adversas.

1) Ensaio de Resistência ao Intemperismo Artificial da Resina

Este ensaio é realizado em conformidade com a ASTM G 53 - 96 for *Operating Light and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials*. O procedimento consiste na exposição acelerada de materiais em laboratório, onde os agentes degradantes (luz, calor e umidade) são controlados de maneira que simulem o ambiente natural. Entretanto, devido a esses fatores agirem na atmosfera de modo aleatório e imprevisível, não se pode esperar que o ensaio em laboratório reproduza fielmente as variações das intempéries naturais. Porém, as exposições em laboratório permitem explorações comparativas entre os corpos-de-prova.

Basicamente o aparelho de laboratório para o ensaio de intemperismo artificial é composto de oito lâmpadas de radiação ultravioleta, sistema de aspersão de água, controles de temperatura e umidade, controle de programação do ciclo e suporte dos corpos-de-prova. Estas partes são acopladas em uma câmara, permitindo que o pesquisador tenha a facilidade de operação dos controles de ajuste, colocação e troca dos corpos-de-prova e na manutenção do equipamento. São moldadas placas de resina poliuretana, conforme o procedimento do ensaio de tração, com dimensões de 30 x 7 x 0,3 cm, que foram colocadas no suporte existente na câmara, de modo a sofrerem ciclos alternados de quatro horas de radiação ultravioleta e quatro horas de nebulização de água. Este suporte permite que o fluxo d'água transcorra pela superfície das placas e que a radiação ultravioleta incida sobre as mesmas.

Segundo a norma, as placas dispostas na área de exposição à radiação devem ser rotacionadas diariamente, de modo a atenuar as diferenças de radiação nesta área. O sentido de rotação adotado pode ser observado na figura abaixo:

Figura 1: Sentido da rotação das placas de resina no ensaio de intemperismo artificial

As placas de resina ficam expostas ao intemperismo, uma parte por 1000 horas e a outra por 2000 horas. Após este tempo, são recortados os corpos-de-prova com o uso do molde, conforme a ASTM D 638M – 96, e submetidos ao ensaio de tração, para a avaliação da perda de resistência.

2. Ensaio de Resistência Química da Resina

O procedimento para a execução deste ensaio é realizado em conformidade com a norma ASTM C 543 – 95 for *Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents*, cujo objetivo é avaliar o desempenho da resina poliuretana quando é submetida à ação de agentes quimicamente agressivos. A avaliação do desempenho dos corpos-de-prova é feita a partir da perda de resistência mecânica.

Os resultados são obtidos após um intervalo de sete dias (168 horas) a partir da sua exposição ao meio agressivo. A alteração da resistência mecânica é obtida submetendo os corpos-de-prova ao ensaio de tração descrito na norma ASTM D 638M – 96, e comparando-os com aqueles que não foram submetidos ao ataque químico. Portanto, os corpos-de-prova ensaiados possuem as dimensões previstas nesta mesma norma, que foram confeccionados em placas de 3 mm e recortados com um molde, conforme procedimento descrito no ensaio de tração. Para cada traço da resina são recortados 30 corpos-de-prova, cinco para cada solução agressiva.

Foi preparado, em cubas plásticas, um litro de cada solução para cada traço de resina. Os corpos-de-prova, então, foram colocados nas cubas, de forma que não ficaram em contato uns com os outros, nem em contato com as paredes e o fundo da cuba, totalmente imersos nas soluções. Após a imersão, a solução é remisturada a cada 24 horas, para evitar a possível decantação dos agentes agressivos.

Foram utilizadas as seguintes soluções agressivas:

- Ácido Nítrico, com concentrações de 10% e 40%.
- Ácido Sulfúrico, com concentrações de 3% e 30 %;
- Hidróxido de sódio, com concentrações de 10% e 60%;

3) Ensaio de Envelhecimento em Estufa da Resina

Este ensaio foi realizado em conformidade com a NBR6565 – *Elastômero vulcanizado – Determinação do envelhecimento acelerado em estufa. Tem por objetivo avaliar o envelhecimento que a resina sofreria ao ser submetida a uma temperatura elevada, avaliação obtida através da verificação de sua resistência à tração após sua permanência na estufa.*

Para a sua execução, foram moldados 10 corpos-de-prova de cada traço da resina fornecida pelo fabricante, conforme o ensaio de tração, sendo que 5 seriam levados à estufa por 48 horas a uma temperatura de 100°C e os outros 5 a uma temperatura de 125°C, também por 48 horas.

4) Ensaio de Dureza da Resina

Para o ensaio de teste de dureza utilizou-se um durômetro WULTEST, com ponta de prova para a escala Shore "A", MODELO MP-2. Os ensaios de dureza, nas amostras de elastômeros PU, são feitos sempre na temperatura ambiente, seguindo-se o procedimento descrito pela norma ASTM D2240-97 for *Rubber Property – Durometer Hardness*. Para cada tipo de amostra, é realizado o teste aplicando-se o durômetro em cinco pedaços diferentes, considerando-se o valor médio. Este ensaio foi realizado com amostras de resina com e sem fibra, além de amostras submetidas ao ensaio de resistência química e resistência ao intemperismo; neste último caso, a dureza foi medida na superfície exposta ao intemperismo em relação à superfície oposta, que não recebeu raios ultravioletas e nebulosidade d'água, para se avaliar o possível ressecamento de uma superfície real exposta ao sol.

Figura 2: Foto do ensaio de dureza

RESULTADOS OBTIDOS

Tabela 1 - Resultados dos Ensaios de avaliação da resina à ação de agentes agressivos, promovendo-se o ensaio de tração (ASTM 638 – M):

Amostras	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Elasticidade (MPa)
TF	4,00	46,3	13,98
T1000H	3,57	30,4	42,17
T2000H	3,53	29,6	47,45
TAN10%	6,48	56,6	19,20
TAN40%	7,11	63,9	28,42
TAS3%	5,20	50,6	16,84
TAS30%	4,53	45,8	16,94
THS10%	7,59	56,3	20,43
THS60%	7,45	60,5	17,66
T100°C	6,22	61,0	22,42
T125°C	4,62	47,6	20,31

- (Amostra TF) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em ambiente normal, usada como referência.
- (Amostra T1000H) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em intemperismo artificial por 1000 horas.
- (Amostra T2000H) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em intemperismo artificial por 2000 horas.
- (Amostra TAN10%) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em solução de ácido nítrico a 10%.
- (Amostra TAN40%) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em solução de ácido nítrico a 40%.
- (Amostra TAS3%) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em solução de ácido sulfúrico a 3%.
- (Amostra TAS30%) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em solução de ácido sulfúrico a 30%.
- (Amostra THS10%) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em solução de hidróxido de sódio a 10%.
- (Amostra THS60%) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em solução de hidróxido de sódio a 60%.
- (Amostra T100°C) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em estufa à temperatura de 100°C.
- (Amostra T125°C) à Tensão de ruptura e deformação das amostras de resina, mantidas em estufa à temperatura de 125°C.

Resultados do Ensaio de Dureza

Os resultados deste ensaio se encontram na tabela 2:

Tabela 2 - Resultados do ensaio de dureza:

Amostras	Dureza na Escala Shore "A"
TF	74
T1000H Superfície Exposta	83
T1000H Superfície Não Exposta	80
T2000H Superfície Exposta	88
T2000H Superfície Não Exposta	83
TAN10%	77
TAN40%	81
TAS3%	80
TAS30%	79
THS10%	80
THS60%	76
T100°C	76
T125°C	75

ANEXO C

Geocomposto para drenagem – características técnicas

MacDrain® 2L

Geocomposto para drenagem

Características técnicas

MacDrain® 2L é um geocomposto para drenagem leve e flexível, cujo núcleo drenante é formado por uma geomanta tridimensional, fabricada com filamentos de polipropileno e termosoldada entre dois geotêxteis não-tecido de poliéster em todos os pontos de contato.

Os geotêxteis sobressaem 100 mm além do núcleo nas laterais do MacDrain® 2L, para garantir uma perfeita continuidade do sistema nas juntas e permitir a execução das sobreposições.

Capacidade de Vazão

ASTM D 4716 Gradiente hidráulico Pressão	Drenagem horizontal										Drenagem vertical	
	i = 0,01		i = 0,02		i = 0,05		i = 0,10		i = 0,50		i = 1,00	
	l / s.m	l / h.m	l / s.m	l / h.m	l / s.m	l / h.m	l / s.m	l / h.m	l / s.m	l / h.m	l / s.m	l / h.m
10 kPa	0,64	2340	0,70	2556	0,77	2772	1,26	4536	2,17	7848	2,84	10224
20 kPa	0,23	828	0,29	1080	0,33	1224	0,74	2700	1,54	5544	2,17	7848
50 kPa	0,11	432	0,14	540	0,17	648	0,41	1476	0,85	3096	1,35	4860
100 kPa	0,04	144	0,05	180	0,06	216	0,12	432	0,26	936	0,41	1512
200 kPa	0,02	72	0,02	72	0,02	108	0,04	144	0,08	324	0,13	468

Propriedades hidráulicas

			Geocomposto		Geotêxtil	
Abertura de filtração	mm	ASTM D 3901	---		0,145	
Permissividade	s ⁻¹	ASTM D 4491	---		1,51	
Permeabilidade	cm/s	ASTM D 4491	---		1,1 x 10 ⁻⁵	

Propriedades mecânicas

			Geocomposto		Geotêxtil	
			Direção longitudinal	Direção transversal	Direção longitudinal	Direção transversal
Resistência a tração	kN/m	ASTM D 1284 ASTM D 4595	14,21	8,57	5,26	2,92
Deformação na ruptura	%	ASTM D 1284 ASTM D 4595	33,23	37,33	37,38	36,26
Puncionamento	N	ASTM D 1526 ASTM D 4832	---		602,50	

Características físicas

			Geocomposto		Geotêxtil	
Espessura	mm	ASTM D 1284 ASTM D 5198	11,0		0,7	
Gramatura	g/m ²	ASTM D 1284 ASTM D 5198	700		100	

Apresentação do rolo

			Geocomposto	
Largura	m		1 ou 2	
Comprimento	m		10 ou 30	
Área	m ²		10 ou 60	
Diâmetro médio	m		0,4 ou 0,7	
Peso	kg		7,0 ou 42,0	

MACCAFERRI
AMÉRICA LATINA

A Maccaferri reserva-se o direito de alterar estas especificações em qualquer momento, de acordo com as características dos produtos fabricados.

www.maccaferri.com.br

Garantia do Sistema de Qualidade
Produção, gerenciamento interno e certificado
e estabilidade técnica conforme ISO 9001

Julho 2005

ANEXO D
Planilha de dados do Laboratório de Construção Civil - USP

Dados			Aço Galvanizado		Fibrocimento		Laje Cerâmica	
Hora	T. ar ext.	r. solar	T. ar int.	T. sup. int.	T. ar int.	T. sup. int.	T. ar int.	T. sup. int.
0:00	15,65	0	19,82	15,27	20,78	16,92	21,71	20,82
0:30	14,79	0	19	13,84	20,26	15,82	21,25	19,93
1:00	14,31	0	18,32	12,93	19,67	14,64	20,66	19,03
1:30	13,92	0	17,67	12,37	19,06	13,63	20,03	18,14
2:00	13,37	0	17,09	11,97	18,49	12,8	19,41	17,29
2:30	12,92	0	16,48	11,22	17,94	12,06	18,81	16,48
3:00	12,65	0	15,94	10,64	17,42	11,32	18,26	15,74
3:30	12,89	0	15,46	10,32	16,95	10,7	17,79	15,03
4:00	13,49	0	15,06	10,15	16,49	10,4	17,29	14,39
4:30	13,86	0	14,65	9,83	16,07	9,96	16,85	13,79
5:00	14,57	0	14,38	10	15,69	9,66	16,4	13,26
5:30	14,49	0	14,12	9,75	15,38	9,55	16,05	12,79
6:00	14,27	7	13,89	9,95	15,08	9,49	15,76	12,4
6:30	14,49	29	13,72	9,91	14,85	9,65	15,47	12,06
7:00	16,06	133	13,6	10,01	14,66	9,88	15,2	11,76
7:30	21,01	281	13,9	13,29	14,5	10,41	14,99	11,53
8:00	23,17	413	14,88	22,13	14,43	11,58	15	11,54
8:30	24,61	539	16,44	31,08	14,84	16,4	15,47	12,4
9:00	25,28	652	18,33	35,18	15,95	21,97	16,7	14,21
9:30	26,29	753	20,03	41	17,48	26,98	18,4	16,7
10:00	27,49	845	21,57	44,3	18,71	31,12	19,85	19,59
10:30	28,76	910	22,75	48,97	19,73	34,64	20,96	22,67
11:00	29,58	943	23,98	51,21	20,93	36,94	22,14	25,86
11:30	30,54	963	25,02	54,03	21,66	40,29	23,04	29,05
12:00	31,42	965	26,01	56,5	22,33	43,8	23,67	32,11
12:30	31,9	960	27,18	57,84	23,31	46,86	24,63	35
13:00	32,81	941	28,19	57,78	24,4	48,56	25,82	37,63
13:30	33,37	910	29,37	56,12	25,39	48,39	26,95	39,93
14:00	33,49	845	30,52	54,1	26,38	47,89	28,02	41,83
14:30	33,81	758	32,2	50,79	28,13	44,76	29,22	43,25
15:00	33,74	662	33,21	46,18	29,31	41,81	30	44,24
15:30	34,04	561	33,48	45,54	29,78	40,76	30,63	44,8
16:00	33,63	441	33,53	43,32	30,16	40	31,55	44,96
16:30	33,53	327	33,67	39,89	30,72	38,55	31,91	44,69
17:00	33,02	219	33,57	37,31	30,94	36,84	32,41	44,04
17:30	32,16	115	32,72	35,43	30,96	35,71	32,35	43,17
18:00	31	45	32,11	32,93	30,93	34,44	32,37	41,99
18:30	28,5	4	31,45	30,41	30,53	33,12	32,24	40,61
19:00	26,66	0	30,74	28,39	30,22	31,39	31,93	39,05
19:30	24,68	0	29,6	25,24	29,76	29,47	31,4	37,38
20:00	23,4	0	28,5	23,67	29,11	27,12	30,66	35,64
20:30	22,56	0	27,63	22,64	28,38	25,38	29,91	33,89
21:00	21,3	0	26,71	21,71	27,59	23,92	29,01	32,21
21:30	20,52	0	25,86	20,83	26,82	22,73	28,13	30,61
22:00	20,14	0	24,97	19,97	26,02	21,63	27,24	29,1
22:30	19,83	0	24,08	19,22	25,26	20,7	26,47	27,73
23:00	19,52	0	23,37	18,72	24,58	19,93	25,69	26,44
23:30	19,5	0	22,71	18,2	23,94	19,24	24,97	25,25
0:00	19,18	0	22,15	17,8	23,35	18,72	24,4	24,19

Dados			Cerâmica		CVL	
Hora	T.ar ext.	r. solar	T. ar int.	T. sup. int.	T. ar int.	T. sup. int.
0:00	15,65	0	20,51	19,1	21,3	21,95
0:30	14,79	0	20,15	18,25	20,88	21,7
1:00	14,31	0	19,66	17,37	20,42	21,39
1:30	13,92	0	19,14	16,66	19,98	21,09
2:00	13,37	0	18,64	15,85	19,52	20,79
2:30	12,92	0	18,11	15,11	19,06	20,47
3:00	12,65	0	17,62	14,53	18,63	20,16
3:30	12,89	0	17,24	13,89	18,21	19,85
4:00	13,49	0	16,82	13,31	17,84	19,54
4:30	13,86	0	16,43	12,8	17,48	19,23
5:00	14,57	0	16,07	12,64	17,17	18,94
5:30	14,49	0	15,8	12,45	16,92	18,66
6:00	14,27	7	15,62	12,75	16,76	18,41
6:30	14,49	29	15,43	12,71	16,57	18,15
7:00	16,06	133	15,22	12,94	16,37	17,91
7:30	21,01	281	15,05	13,14	16,2	17,68
8:00	23,17	413	15,07	14,07	16,3	17,51
8:30	24,61	539	16,07	15,86	16,92	17,59
9:00	25,28	652	17,45	18,69	17,96	17,94
9:30	26,29	753	18,98	21,09	19,1	18,47
10:00	27,49	845	20,11	23,44	20,14	18,98
10:30	28,76	910	20,75	25,25	20,69	19,3
11:00	29,58	943	21,6	27,03	21,49	19,77
11:30	30,54	963	22,03	28,19	21,68	19,89
12:00	31,42	965	22,36	29,42	21,84	20,13
12:30	31,9	960	22,91	30,52	22,25	20,53
13:00	32,81	941	23,76	31,58	22,9	21,05
13:30	33,37	910	24,6	32,37	23,71	21,63
14:00	33,49	845	25,24	32,62	24,38	22,32
14:30	33,81	758	26,19	32,64	25,23	23,2
15:00	33,74	662	26,74	32,54	25,97	23,88
15:30	34,04	561	27,11	32,83	26,5	24,38
16:00	33,63	441	27,81	32,71	27,12	25,01
16:30	33,53	327	28,18	32,72	27,71	25,53
17:00	33,02	219	28,73	32,42	28,19	26,07
17:30	32,16	115	28,58	32,13	28,38	26,17
18:00	31	45	28,69	31,75	28,58	26,36
18:30	28,5	4	28,61	31,2	28,71	26,51
19:00	26,66	0	28,49	30,6	28,75	26,58
19:30	24,68	0	28,26	29,28	28,6	26,72
20:00	23,4	0	27,88	27,95	28,27	26,74
20:30	22,56	0	27,48	27,16	27,82	26,61
21:00	21,3	0	26,95	25,93	27,24	26,4
21:30	20,52	0	26,4	25,03	26,58	26,15
22:00	20,14	0	25,71	24,19	25,89	25,85
22:30	19,83	0	25,1	23,39	25,27	25,53
23:00	19,52	0	24,47	22,6	24,68	25,23
23:30	19,5	0	23,91	22,07	24,13	24,92
0:00	19,18	0	23,43	21,58	23,68	24,63

Fonte: Planilha de dados do Laboratório de Construção Civil (2006)