CAIO CURY BEATRICE

| Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais con | no |
|---|----|
| cobertura leve de telhados em edificações | |

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Associado Francisco A. S. Vecchia

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B369a

Beatrice, Caio Cury

Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações / Caio Cury Beatrice ; orientador Francisco Arthur da Silva Vecchia. -- São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Conforto térmico. 2. Comportamento térmico. 3. Telhado verde extensivo. 4. Arachis repens Handro. 5. Ophiopogon japonicus (L.f) Ker Gawl. 6. Paspalum notatum Flügge. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel CAIO CURY BEATRICE

Título da dissertação: Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações.

Data da defesa: 12/08/2011:

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado Francisco Arthur da Silva Vecchia (Orientador) (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Associado **Evaldo Luiz Gaeta Espindola** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROUADO.

Prof^a, Titular Flávia Cristina Sossae (Centro Universitário de Araraquara/UNIARA) aprovado

Coordenador do Programa de Pos-Gracuação em Ciências da Engenharia Ambiental: Prof. Associado **Evaldo Luiz Gaeta Espindola**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação: Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Paulo e Margareth, pelo exemplo de vida e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo e Margareth, pela indescritível motivação e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Às minhas irmãs Caroline e Camile, pela ajuda e incentivo durante as horas de reflexão.

Ao Prof. Doutor Francisco Vecchia, pela orientação acadêmica para a realização desta pesquisa, que muito contribuiu para meu crescimento científico.

Ao Prof. Doutor Joaquim Rassini, por todos os esclarecimentos e sugestões nos momentos iniciais desta pesquisa.

Aos amigos pesquisadores, Gabriel Castañeda Nolasco, Jaime Andrés Quiroa, Marcos Pereira Lima e Marcos José Oliveira, por toda a ajuda, compreensão e ensinamentos, compartilhados ao longo de toda a pesquisa.

Às Prof. Doutoras Ana Maria Liner Pereira Lima e Flávia Cristina Sossae pelo apoio e sugestões finais ao trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado para a realização desta pesquisa.

RESUMO

BEATRICE, C.C. Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

O uso telhados verdes oferece benefícios como: moderação dos valores da temperatura no interior de edificações e contenção temporária da água de chuva, limpeza de poluentes atmosféricos, além de favorecer aspectos ecológicos. Poucos estudos científicos foram realizados no sentido de adaptar as técnicas contemporâneas e a indicação de espécies apropriadas ao sistema de telhado verde extensivo, originadas de regiões de clima temperado para as condições dos climas tropicais. O objetivo desta pesquisa foi identificar espécies com potencial de uso em telhado verde em sistema extensivo, quantificando a reação das plantas à variação de diferentes profundidades de substrato, em situações limitadas de manutenção, no aspecto de irrigação e nutrição do solo. Procurou-se também registrar o comportamento térmico do solo, a fim de verificar a influência da vegetação no aquecimento da parte inferior do solo em relação a distintas profundidades de substrato. Os vegetais foram plantados em setembro de 2009 aplicados em 27 plataformas de teste. Foram cultivadas três espécies de plantas das famílias Fabaceae (Arachis repens Handro), Poaceae (Paspalum notatum Flügge) e Ruscacea (Ophiopogon japonicus (L.F. Ker Gawl)), sob três tratamentos de profundidades de substrato, 0.05, 0.075 e 0.10m. Quantificou-se mensalmente a porcentagem de cobertura vegetal, crescimento vertical e de sobrevivência, com encerramento ao final de um ciclo anual. O comportamento térmico dos solos nos diferentes tratamentos foi registrado automaticamente por meio de sensores. Os resultados indicaram a espécie Ophiopogon japonicus, em solos de 0.10m, como a que apresentou o melhor desempenho entre as três examinadas, seguida por Paspalum notatum. Todas as espécies cultivadas em solos de 0.10m apresentaram resultados satisfatórios quanto a cobertura do solo, crescimento vertical e sobrevivência, em relação ao cultivo em profundidades menores de substrato. O cultivo em menor profundidade de solo (0.05m) revelou baixo valor de sobrevivência para todas as espécies durante o período de poucas chuvas. O crescimento vertical foi satisfatório para todas as espécies analisadas, dispensando manutenção com poda regular. Os resultados de comportamento térmico indicaram melhor desempenho de solos à profundidade de 0.10m, independente do tipo de planta cultivado. Concluiu-se que solos de menor espessura são mais dependentes de cobertura vegetal para minimizar seu aquecimento e que os solos de maior

espessura o fazem com menor dependência da vegetação. O melhor desempenho térmico foi observado em solos de 0.10 m, em relação às profundidades menores, embora não variasse seu comportamento térmico significativamente com o cultivo das três diferentes espécies de plantas, referente aos valores de cobertura atingidos neste experimento.

Palavras-chave: Comportamento térmico. Telhado verde extensivo. *Arachis repens* Handro. *Ophiopogon japonicus* (L.f.) Ker Gawl. *Paspalum notatum* Flügge.

ABSTRACT

BEATRICE, C.C. Evaluation of the potential use of three plant species as light cover on roof buildings. 2011. 125 f. Paper (Master's) – São Carlos Engineering School, São Paulo University, São Carlos, 2011.

The uses of green roofs provide benefits such as moderation of the temperature inside buildings, temporary containment of rainwater, cleaning of air pollutants, in addition to promoting ecological aspects. Few scientific studies have been conducted to adapt contemporary techniques and indication of appropriate species for extensive green roof system, originated from temperate regions to the conditions of tropical climates. The objective of this research was to identify species with potential for use in green roof in the extensive system, quantifying the response of plants to variation of different depths of substrate, in limited situations of maintenance in respect of irrigation and soil nutrition. Was searched register the thermal behavior of soil in order to determine the influence of vegetation on the warming of the lower soil depths for different substrates. The plants were planted in september 2009, applied in 27 platforms. There were three species of cultivated plants of the families Fabaceae (Arachis repens Handro), Poaceae (Paspalum notatum Flügge) and Ruscacea (Ophiopogon japonicus (L.F.) Ker Gawl) under three treatments of substrate depths, 0.05, 0.075 and 0.10m. Was quantified the percentage of monthly vegetation cover, vertical growth and survival, with closing at the end of an annual cycle. The thermal behavior of soils under different treatments was recorded using sensors. The results indicated that Ophiopogon japonicus in 0.10m soils, showed the best performance among the three examined. All species grown in 0.10m of soils had been satisfactory results of soil cover, vertical growth and survival in relation to culture in shallower substrate. The species Arachis repens showed the highest sensitivity to the depth and water stress during the autumn and winter, requiring more necessity of maintenance. Cultivation in shallower soil (0.05m) showed low survival value for all species during the short rains. The vertical growth was satisfactory for all species analyzed, of which the greatest height reached was *Ophiopogon japonicus* without requiring regular maintenance pruning. The results indicated better performance thermal behavior of soil to a depth of 0.10m, regardless of the type of plant grown. It was concluded that soils of lesser thickness are dependent on vegetation cover to minimize your heating, and the soils with more thickness are less dependence on the vegetation. The best thermal performance was observed in soils of 0.10 m compared to shallower depths, but did not vary significantly its thermal behavior with the cultivation of three different species of plants, referring to amounts of coverage achieved in this experiment.

Keywords: Thermal behavior. Extensive green roof. *Arachis repens* Handro. *Ophiopogon japonicus* (L.F.) Ker Gawl. *Paspalum notatum* Flügge.

LISTA DE FIGURAS

| Figura 1. Imagem esboçada para representar os Jardins Suspensos da Babilônia. | |
|--|----|
| Fonte: Clayton e Price (1989) | 28 |
| Figura 2. Ilustração de uma cobertura escandinava, feita com torrões de solo, relva e | |
| folhagem. Fonte: Minke (2003) | 29 |
| Figura 3. Fotografia da instalação de telhado vegetal a partir de torrões de solo transportados e | |
| pré-colonizados por vegetação nativa. Fonte: www.safeguardeurope.com | 30 |
| Figura 4. Telhado verde localizado em Murr, Alemanha. Fonte: (Pledge, 2005) | 31 |
| Figura 5. Telhado verde em residência localizado em Sechelt, Canadá. Fonte: (Pledge, 2005) | 31 |
| Figura 6. Telhado verde em Pennsylvania, Estados Unidos. Fonte: (Pledge, 2005) | 31 |
| Figura 7. Telhado verde no norte da Islândia. Fonte: WEBSHOTS (2010) | 31 |
| Figura 8. Valores de temperatura indicando a atenuação térmica acumulada em diferentes | |
| materiais usados como cobertura. Fonte: Gertis (1977) | 33 |
| Figura 9. Temperatura do ar de superfície em ambientes com telhado verde e sem telhado | |
| verde. Fonte: Wong et al. (2003) | 34 |
| Figura 10. Hidrogramas representando a vazão em função do tempo de escoamento de águas | |
| pluviais. Fonte: Collischonn e Tassi (2008) | 35 |
| Figura 11. (a) Ilustração do perfil de um sistema de telhado extensivo e (b) de um telhado | |
| intensivo. Fonte: Australia's guide to environmentally sustainable homes, by Paul Downton. | 37 |
| Figura 12. Estrutura simples de um telhado verde extensivo. Fonte: Farzaneh et al. (2005) 3 | 37 |
| Figura 13. Variação das inclinações adotadas entre 0° e 45° para telhados verdes extensivos. | |
| Fonte: Minke (2003) | 38 |
| Figura 14. Modelo de estrutura adicional para contenção de movimento de solo em | |
| inclinações acentuadas. Fonte: Dunnett e Kingsbury (2008) | 39 |
| Figura 15. Instalação de membrana impermeável a base de PVC, em teste de estanqueidade. | |
| Fonte: Pledge (2005) | 41 |
| Figura 16. A manta de betume modificado é aquecida até o derretimento do aglomerante e a | |
| completa fixação na superfície da estrutura. Fonte: Pledge (2005) | 42 |
| Figura 17. Perfuração causada por raízes em uma membrana asfáltica de 0.015m de espessura | |
| após 15 meses de crescimento. Fonte: Pennigsfeld et al. (1981 apud MINKE, 2003) | 43 |

| Figura 18. Composição volumétrica de um solo superficial apresentando boas condições para | |
|---|------|
| crescimento vegetal, onde a água e o ar possuem quantidades variáveis e a outra proporção | 1 |
| é determinada por minerais sólidos. Fonte: Brady (1989) | . 46 |
| Figura 19. Localização espacial do município de Itirapina, inserido no estado de São Paulo. | |
| Fonte: Adaptado de Rietzler, et al. (2002) e imagem de satélite indicando a área de | ; |
| localização do CRHEA (Google Maps, 2011) | . 54 |
| Figura 20. Apresentação da distribuição dos blocos (Arachis repens, Ophiopogon japonicus, | |
| Paspalum notatum) e em três tratamentos (0.05 m, 0.075 m, 0.10m) | . 56 |
| Figura 21. Foto da estrutura e das dimensões das plataformas utilizadas no experimento | |
| realizado. Foto: Beatrice (2010) | . 57 |
| Figura 22. Posicionamento das plataformas experimentais suspensas 0.15 m do solo, por | |
| estruturas de madeira, com inclinação de 3 graus (5%). Foto: Beatrice (2010) | . 58 |
| Figura 23. (a) Aplicação da membrana impermeabilizante à base de óleo de mamona (Ricinus | • |
| Communis) nas plataformas experimentais, (b) detalhe da película de resina aderida à | ļ. |
| plataforma. Fotos: Beatrice (2010) | . 59 |
| Figura 24. (a) Modelo de manta geotextil, (b) Imagem com detalhe das camadas do | 1 |
| geocomposto, geomanta e filamentos que permitem o fluxo de água. Foto: Lima (2009) | . 60 |
| Figura 25. Revestimento dos blocos com manta geotextil drenante MacDrain® 2L. Foto: | |
| Beatrice (2010) | . 60 |
| Figura 26. (a) Foto de Paspalum notatum em vista superior; (b) característica radicular | , |
| rizomatoso de Paspalum notatum em vista lateral. Foto: Beatrice (2010) | . 65 |
| Figura 27. (a) Foto de Arachis repens em vista superior; (b) característica radicular | , |
| estolonífera de Arachis repens em vista lateral. Foto: Beatrice (2010) | . 66 |
| Figura 28. (a) Foto de Ophiopogon japonicus; (b) característica radicular rizomatosa de | ; |
| Ophiopogon japonicus. Foto: Beatrice (2010) | . 66 |
| Figura 29. Foto da cápsula metálica para retirada das unidades experimentais da espécie | : |
| Paspalum notatum de uma cobertura estabelecida. Foto: Beatrice (2010) | . 67 |
| Figura 30. Abertura das covas com distanciamento de 0.10 m e plantio das unidades | |
| experimentais. Foto: Beatrice (2010) | . 68 |
| Figura 31. Termopar tipo T (cobre e constantin), com destaque para a junção de medição. | |
| Foto: Beatrice (2010) | . 69 |
| Figura 32. Posicionamento dos termopares na profundidade máxima no centro de cada | ļ |
| plataforma. Foto: Beatrice (2010) | . 70 |

| Figura 33. Imagem do Multiplexador AM416 a direita e foto dos pólos dos termopares | |
|---|----|
| conectados ao multiplexador AM416. Foto: Beatrice (2010) | |
| Figura 34. Imagem do suporte móvel construído para o registro de imagens da plataforma, a 1.30 m de altura. Foto: Beatrice (2010) | |
| Figura 35. (a) Imagem de entrada referente à superfície vegetada, (b) imagem de saída da | |
| análise computacional pelo método não destrutivo referente à superfície vegetada, | |
| revelando 42 % de cobertura do solo. Fotos: Beatrice (2010) | |
| Figura 36. Cone de cores puras em matiz, saturação e brilho no espaço HSB. | |
| Fonte: Cardani (2001) | |
| | |
| Figura 37. Estação climatológica localizada ao lado do experimento. Foto: Beatrice (2010) | |
| Figura 38. Painel frontal de um <i>Datalogger</i> CR10X para registro e armazenamento dos | |
| atributos climáticos. Fonte: CR10X Measurement and Control Module Operato's Manual | |
| Figura 39. Sensor de temperatura e umidade relativa do ar à esquerda e, à direita o sensor | |
| instalado no abrigo. Fonte: Instruction manual: Model HMP45C Temperature and Relative | |
| Umidity | |
| Figura 40. Sensor piranômetro LI200X, com sensibilidade ao espectro de luz entre 400 a | |
| 110 nm. Fonte: Instruction manual: LI200X Pyranometer | 76 |
| Figura 41. Pluviômetro contendo sensor de registros. Fonte: Instruction manual: TE525WS | |
| Rain gages | 76 |
| Figura 42. Sensor contendo à esquerda o anemômetro e à direita o anemoscópio. Fonte: | |
| Instruction manual: 03001 R.M. Young Wind Sentry Set / 03101 R. Young Wind Sentry | |
| Anemometer / 03301 R.M. | 76 |
| Figura 43. Dia 2/9/09. O valor de temperatura máxima do ar para o local de estudo foi de | |
| 32°C. As áreas brancas representam nuvens e as escuras céu limpo | 79 |
| Figura 44. Dia 24/10/09. O valor de temperatura máxima do ar para o local de estudo foi de | |
| 31°C. As áreas brancas representam nuvens e as escuras céu limpo | 80 |
| Figura 45. Dia 23/2/10. O valor de temperatura máxima do ar para o local de estudo foi de | |
| 31.9 °C. As áreas brancas representam nuvens e as escuras céu limpo | 81 |
| Figura 46. Aspecto real de cobertura da espécie Arachis repens, nos tratamentos, ao final da | |
| estação de primavera, verão, outono e inverno | 87 |
| Figura 47. Aspecto real de cobertura da espécie Ophiopogon japonicus, nos tratamentos, ao | |
| final da estação de primavera, verão, outono e inverno | |
| Figura 48. Aspecto real de cobertura da espécie <i>Paspalum notatum</i> , nos tratamentos, ao final | |
| da estação de primavera, verão, outono e inverno | |
| → | |

LISTA DE GRÁFICOS

| Gráfico 1. Avaliação da capacidade máxima de retenção de água em amostras do solo | |
|--|----|
| utilizado no experimento, por meio da metodologia de papel filtro. A região entre as setas | |
| indicam aproximadamente a menor e a maior pressão exercida pelas moléculas de água no | |
| solo e o máxima e o mínimo teor de umidade respectivamente | 63 |
| Gráfico 2. Indica a série dos registros de radiação solar entre dias da fase anterior ao plantio | |
| (solo nu) | 79 |
| Gráfico 3. Indica a série dos registros de temperatura do ar entre dias da fase anterior ao | |
| plantio (solo nu), evidenciando o dia 02/09/2009 como o de temperatura mais elevada | 79 |
| Gráfico 4. Indica a série dos registros de radiação solar entre dias da fase recém estabelecido | |
| do vegetal | 80 |
| Gráfico 5. Indica a série dos registros de temperatura do ar entre dias da fase recém | |
| estabelecido do vegetal, evidenciando o dia 24/10/2009 como o de temperatura mais | |
| elevada | 80 |
| Gráfico 6. Indica a série dos registros de radiação solar entre dias da fase de desenvolvimento | |
| pleno do vegetal | 81 |
| Gráfico 7. Indica a série dos registros de temperatura do ar entre dias da fase de | |
| desenvolvimento pleno do vegetal, evidenciando o dia 23/02/2010 como o de temperatura | |
| mais elevada | 81 |
| Gráfico 8. Caracterização hidrológica entre o período de realização do experimento de | |
| outubro de 2009 e setembro de 2010 | 84 |
| Gráfico 9. Cobertura do solo pela espécie Arachis repens em profundidades de 0.05 m, 0.075 | |
| m e 0.10 m | 86 |
| Gráfico 10. Cobertura do solo pela espécie <i>Ophiopogon japonicus</i> em profundidades de 0.05 | |
| m, 0.075 m e 0.10 m | 88 |
| Gráfico 11. Cobertura do solo pela espécie Paspalum notatum em profundidades de 0.05m, | |
| 0.075 m e 0.10 m. | 90 |
| Gráfico 12. Sobrevivência pela espécie <i>Arachis repens</i> em profundidades de 0.05m, 0.075m e | |
| 0.10m | 94 |
| Gráfico 13. Sobrevivência pela espécie Ophiopogon japonicus em profundidades de 0.05 m, | |
| 0.075 m e 0.10 m | 95 |

| Gráfico 14. Sobrevivência pela espécie <i>Paspalum notatum</i> Flügge em profundidades de | |
|---|-----|
| 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m | 96 |
| Gráfico 15. Crescimento vertical pela espécie Arachis repens em profundidades de | |
| 0.05m, 0.075 m e 0.10 m | 98 |
| Gráfico 16. Crescimento vertical pela espécie Ophiopogon japonicus em profundidades de | |
| 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m | 99 |
| Gráfico 17. Crescimento vertical pela espécie Paspalum notatum em profundidades de | |
| 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m | 100 |
| Gráfico 18. Radiação solar diária para 02/09/2009, dia 24/10/2009 e 23/02/2010 | 102 |
| Gráfico 19. Temperatura dos solos sem cobertura vegetal para dia 02/09/2009 | 102 |
| Gráfico 20. Temperatura dos solos cultivados com Arachis repens, dia 24/10/2009 | 103 |
| Gráfico 21. Temperatura dos solos cultivados com Arachis repens, dia 23/02/2010 | 103 |
| Gráfico 22. Temperatura dos solos cultivados com Ophiopogon japonicus, em 24/10/2009 | 104 |
| Gráfico 23. Temperatura dos solos cultivados com Ophiopogon japonicus, em 23/02/2010 | 104 |
| Gráfico 24. Temperatura dos solos cultivados com Paspalum notatum, em 24/10/2009 | 105 |
| Gráfico 25. Temperatura dos solos cultivados com Paspalum notatum, em 23/02/2010 | 105 |

LISTA DE TABELAS

| Tabela 1. Relação de materiais comumente usados como substratos em telhados verdes Fonte: Dunnett e Kingsbury (2008) | |
|--|----|
| Tabela 2. Massa específica de alguns materiais utilizados no sistema de coberturas verdes. For (OSMUNDSON, 1999) | |
| Tabela 3. Dados Climáticos da Região de Itirapina, período 1961-1990. Fonte: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia "Normais Climatológicas (1961-1990)" Brasília-Brasil, 1992 | 55 |
| Tabela 4. Composição física e química do solo aplicado ao estudo | |

LISTA DE QUADROS

| Quadro 1. Registro pluviométrico de 16/08/09 a 03/09/09 |
|--|
| Quadro 2. Registro Pluviométrico de 16/10/09 a 28/10/09 |
| Quadro 3. Registro Pluviométrico de 16/02/10 a 27/02/10 |
| Quadro 4. Comparativo entre os valores experimentais e estatísticos dos meses de setembro, |
| outubro e fevereiro em relação ao clima |
| Quadro 5. Cobertura vegetal do solo pelas espécies Arachis repens (grama amendoim), |
| Ophiopogon japonicus (grama preta), Paspalum notatum (grama batatais), em solos de 0.05 |
| m, 0.075 m e 0.10 m, durante o período de setembro de 2009 a setembro de 201093 |
| Quadro 6. Sobrevivência das espécies Arachis repens (grama amendoim), Ophiopogon |
| japonicus (grama preta), Paspalum notatum (grama batatais), em solos de 0.05 m, 0.075 m |
| e 0.10 m, durante o período de setembro de 2009 a setembro de 2010 |
| Quadro 7. Crescimento vertical das espécies Arachis repens (grama amendoim), Ophiopogon |
| japonicus (grama preta), Paspalum notatum (grama batatais), em solos de 0.05 m, 0.075 m |
| e 0.10 m, durante o período de setembro de 2009 a setembro de 2010 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| Equação 1. Equação de eficiência no uso da água e assimilação de CO ₂ . Fonte: | Kerbauy |
|---|---------|
| (2004) | 51 |
| | |
| Equação 2. Cálculo de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith. | |
| Fonte: FAO 56. (1993) | 77 |

SUMÁRIO

| 1. INTRODUÇÃO | . 25 |
|--|------|
| 2. JUSTIFICATIVA | . 26 |
| 3. OBJETIVO | . 27 |
| 3.1 Objetivo geral | . 27 |
| 3.2 Objetivos específicos | . 27 |
| 4. REVISÃO DA LITERATURA | . 28 |
| 4.1. Histórico da cobertura vegetal e suas vantagens | . 28 |
| 4.2. Elementos do sistema de telhado verde | . 40 |
| 4.2.1. Impermeabilização | . 40 |
| 4.2.2. Barreira contra raízes. | . 42 |
| 4.2.3. Sistema de Drenagem | . 43 |
| 4.2.4. Substrato | . 45 |
| 4.2.5. Vegetação | . 49 |
| 4.3. Custos | . 52 |
| 5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | . 53 |
| 6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | . 55 |
| 6.1. Delineamento experimental | . 55 |
| 6.2. Construção das plataformas experimentais | . 56 |
| 6.2.1 Impermeabilização | . 58 |
| 6.2.2. Sistema de drenagem | . 59 |
| 6.2.3. Substrato | . 60 |
| 6.2.4. Caracterização e seleção das espécies vegetais | . 64 |
| 6.2.5. Cultivo das plantas | . 67 |
| 6.3. Irrigação | . 68 |
| 6.4. Temperatura dos solos | . 69 |
| 6.5. Definição da metodologia de análise | . 71 |
| 6.5.1. Coleta de dados | . 71 |
| 6.5.1.1. Cobertura vegetal do solo | . 71 |
| 6.5.1.2. Estabelecimento das plantas | . 74 |
| 6.5.1.3. Sobrevivência e persistência | . 74 |
| 6.5.1.4. Crescimento vertical | . 74 |
| 6.5.1.5. Registro dos valores dos atributos climáticos | . 75 |

| 6.5.1.6. Temperatura dos solos | 78 |
|--|-----|
| 6.6. Análise estatística | 83 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 83 |
| 7.1. Caracterização do balanço hídrico para a área de estudo | 83 |
| 7.2. Estabelecimento inicial das plantas | 85 |
| 7.3. Cobertura dos solos | 85 |
| 7.3.1. Arachis repens | 85 |
| 7.3.2. Ophiopogon japonicus | 87 |
| 7.3.3. Paspalum notatum | 90 |
| 7.4. Sobrevivência | 93 |
| 7.4.1. Arachis repens | 93 |
| 7.4.2. Ophiopogon japonicus | 95 |
| 7.4.3. Paspalum notatum | 96 |
| 7.5. Crescimento vertical | 97 |
| 7.5.1. Arachis repens | 97 |
| 7.5.2. Ophiopogon japonicus | 98 |
| 7.5.3. Paspalum notatum | 100 |
| 7.6. Comportamento das temperaturas dos solos | 101 |
| 7.6.1. Arachis repens | 103 |
| 7.6.2. Ophiopogon japonicus | 103 |
| 7.6.3. Paspalum notatum | 105 |
| 8. CONCLUSÕES | 106 |
| 8.1 Quanto ao desempenho do cultivo das plantas | 106 |
| 8.2 Quanto ao desempenho térmico dos solos | 108 |
| 8.3 Sugestões e recomendações para trabalhos futuros | 108 |
| 9. REFERÊNCIAS | 110 |
| APÊNDICE A | 121 |
| APÊNDICE B | 123 |
| APÊNDICE C | 125 |

1. INTRODUÇÃO

A intensa ocupação territorial, a concentração de edificações, o adensamento populacional, a pavimentação e acúmulo de poluentes nos centros urbanos causam impactos ambientais negativos incluindo entre outros, a redução de espaços verdes entre áreas construídas, com a consequente interferência no comportamento térmico em microescala (DE MORAIS, 2004).

Segundo Eriksem¹ (1983 *apud* TAUK, 1995), acredita-se que fenômenos causadores do aquecimento do ar e diminuição da umidade em áreas urbanas devem-se mais a fatores urbanos específicos, tais como, efeito de transferência de energia nas construções urbanas (estruturas verticais, cores, albedo e tipo de material constituinte); evaporação reduzida e a falta do efeito refrescante a ela associado (pouco revestimento vegetal e rápido esgotamento das águas pluviais por canalizações).

Nesse sentido, coberturas vegetais apresentam características de impacto positivo no clima urbano, interceptando e absorvendo parte da energia que chega ao seu entorno. A vegetação ainda mantém processos físicos e fisiológicos que contribuem para a redução da sensação de calor, por meio da transpiração, sombreamento e absorção da radiação solar (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003; MODNA; VECCHIA, 2003). Segundo Krusche et al. (1982), da radiação que atinge uma cobertura vegetal, aproximadamente 27% é refletido, 60% é absorvido pelas plantas e pelo substrato através da evapotranspiração e 13% é transmitido para a base de suporte.

O reconhecimento dos fatores positivos oferecidos pelos vegetais motivou a busca da aliança de sistemas que comportem vegetais vivos como componentes integrados à estrutura de ambientes construídos.

Desde a antiguidade, várias civilizações têm aprimorado diversas técnicas de tecnologias arquitetônicas que, de alguma forma, favoreçam o resfriamento do ar em ambientes construídos. Dentre as técnicas conhecidas, a aplicação de telhados verdes, comumente utilizados por civilizações antigas da Mesopotâmia e Escandinávia, foi resgatada por idealizadores alemães na década de 60, por se tratar de uma alternativa viável e eficiente diante a um panorama atual global, que visa esforços em reduzir resíduos industriais e conservar os recursos naturais (PECK *et al.*, 1999).

A denominação desse sistema construtivo, atualmente, varia em diversas regiões, sendo descrito como telhado verde (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; DURHMAN et al., 2007;

.

¹ ERIKSEM, W. **Die Stadt als Okosystem**. 1983.

PLEDGE, 2005), telhado vegetado (EMILSSON, 2005a) ou cobertura verde leve (CVL) (VECCHIA et al., 2004; VECCHIA, 2005).

Coberturas construtivas são consideradas como telhados verdes quando apresentam uma porção substancial de sua superfície permanentemente coberta por vegetação. Em geral, os telhados verdes atuais são formados por diversas camadas sobrepostas sobre um suporte estrutural, contendo vegetação tolerante às condições do ambiente, solo de espessura variável, material drenante, barreira contra raízes e componente impermeabilizante (DUNNETT; KINGSBURY, 2008).

Segundo Kosareo e Ries (2007), Peck e Kuhn (2004) e Szokolay (1998), existem dois conhecidos tipos de telhados verdes: as coberturas extensivas e intensivas. As coberturas extensivas são caracterizadas por estreita camada de substrato, que as tornam leves, consistidas de vegetação rasteira e resistente, além de agrupar aspectos fisiológicos apropriados às limitações de cultivo, tendendo dessa forma, a minimizar a manutenção periódica. Coberturas intensivas apresentam maior espessura de solo e plantas em maior diversidade e porte, podendo necessitar de sistema de irrigação e manutenção periódica, em função do crescimento vertical e das exigências de cada espécie vegetal adotada.

Sistemas de telhados verdes são conhecidos por apresentar diversos benefícios, como moderação da temperatura interna de edificações, contenção temporária da água de chuva, limpeza de poluentes atmosféricos, aumento da eficiência energética, isolamento sonoro e provável atenuação do efeito de ilha de calor urbano (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; PECK et al., 1999; PLEDGE, 2005).

De acordo com Snodgrass e Snodgrass (2006), tais benefícios podem ser garantidos ou otimizados a partir da escolha correta do modelo de adaptação adotado de telhado verde, de componentes adequados e das espécies apropriadas para cada tipo de sistema, tornando-os essenciais para o ganho de eficiência do conjunto.

2. JUSTIFICATIVA

Em regiões de clima tropical como as da maior parte do Brasil, poucos estudos científicos foram realizados no sentido de adaptar as técnicas contemporâneas de cobertura verde leve, originadas de regiões de clima temperado para as condições dos climas tropicais (CABUGOS, 2008; CUNHA, 2004; DE MORAIS, 2004; LAAR et al., 2001; LOPES, 2007; VECCHIA et al., 2004; VECCHIA et al., 2006), que possuem alguns parâmetros diferentes como altos valores de temperatura e amplitude de radiação solar (LAAR; GRIMME, 2006),

além de características hidrológicas peculiares. Entre essas pesquisas, apenas os trabalhos de Laar et al. (2001) para o Brasil e de Cabugos (2008) para o Havaí priorizaram o estudo de comparação e indicação de espécies de vegetais adequadas ao uso em telhados verdes extensivos para região de clima tropical.

Esta pesquisa visou contribuir com o estudo de telhados verdes para a região sudeste do Brasil, favorecendo o aumento do conhecimento sobre aspectos e comportamento de algumas espécies ornamentais para o uso em telhados verdes extensivos.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

O presente estudo propôs avaliar e identificar, dentre três espécies vegetais, *Arachis repens* Handro (grama-amendoim), *Ophiopogon japonicus* (L.F.) Ker Gawl (grama-preta) e *Paspalum notatum* Flügge (grama-batatais), quais apresentam adequado potencial de uso em telhados verdes no sistema de cobertura extensiva em situações limitadas de manutenção no aspecto de irrigação e nutrição do solo, para a região de clima tropical de altitude, existente no sudeste do estado de São Paulo.

3.2 Objetivos específicos

- Quantificar e comparar os valores mensais de sobrevivência, crescimento vertical e cobertura vegetal do solo de três espécies de plantas em plataformas experimentais, em três profundidades diferentes de substrato: 0.05 m, 0.075 m, 0.10m, visando a aplicação em sistemas construtivos.
- Identificar as espécies vegetais que em cultivo extensivo, sem irrigação periódica, apresentem maior tolerância e persistência durante períodos de pouca disponibilidade hídrica, possibilitando sua utilização me sistemas construtivos de telhados verdes.
- Verificar a influência da cobertura vegetal na variação de valores de temperatura do solo entre os diferentes tratamentos de profundidade, para cada espécie vegetal, em dias que contemplem a fase de solo nu (sem cultivo), cultivo recém estabelecido e cultivo desenvolvido.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Histórico da cobertura vegetal e suas vantagens

É possível perceber, por meio de uma revisão histórica, que desde os primórdios das construções as coberturas foram utilizadas de diversas formas e que o uso da vegetação sobre elas tiveram diferentes significados e funções, partindo de habitações rudimentares e vernaculares até as contemporâneas.

Antigos relatos históricos indicam o surgimento do uso de telhados verdes como prática construtiva comum há centenas ou talvez milhares de anos (PECK et al., 1999). Na literatura, a origem dessa prática se relaciona a diversas civilizações pioneiras, entre elas, a mais interessante, localizada na região da Mesopotâmia, nas margens do rio Eufrates, durante o reinado de Nabucodonosor, que supostamente teria ordenado, há 600 a. C., uma grande construção feita de pedras, recriando uma montanha artificial, pensando provavelmente em uma maneira de integrar a natureza ao ambiente construído (Figura 1), pretendendo, desta forma, amenizar a nostalgia de sua esposa Semiramis, nascida ao norte do país, lugar montanhoso e repleto de florestas.

Segundo Osmundson (1999), a "reconstrução" gráfica criada pelo arqueólogo Robert Koldewey indicaria a presença de terraços exteriores ajardinados com enormes plantações exóticas, irrigadas por complexos sistemas hidráulicos, transportando elementos como água, terra e vegetação para a cobertura, conhecidos como os Jardins Suspensos da Babilônia.



Figura 1. Imagem esboçada para representar os Jardins Suspensos da Babilônia. Fonte: Clayton e Price (1989).

Os vikings, assim como outras civilizações, empregavam nas paredes e nas coberturas de suas casas camadas de gramado para que os protegessem das chuvas e dos ventos.

Documentos antigos também indicam que durante o Império Romano, em Pompeia, sul da Itália, era comum o plantio de plantas trepadeiras sobre as varandas (PECK et al., 1999).

Antigas civilizações que pertenciam a regiões da Mesopotâmia conhecidas hoje como Turquia, Iraque, Irã e países vizinhos, além de regiões de clima frio do norte da Europa, como a Islândia e países Escandinavos, eram geralmente estabelecidas próximas aos rios e corpos d'água, onde, ao construírem seus abrigos, utilizavam o próprio solo do local para unir a outros materiais durante a construção do telhado ou da cobertura, conforme mostrado na Figura 2 (PECK et al., 1999; SZOKOLAY, 1998). Esse solo era usado a fim de proteger o abrigo do ganho de calor em climas quentes, isolando o calor dentro dos abrigos em regiões de clima frio, porém, ele continha, eventualmente, sementes de gramíneas entre outras plantas resistentes e rasteiras, que germinavam ao longo do tempo mantendo-se vivas por longos períodos, proporcionando uma cobertura vegetal por toda a superfície do telhado (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; PECK, et al., 1999; PECK; KUHN, 2004; SZOKOLAY, 1998).

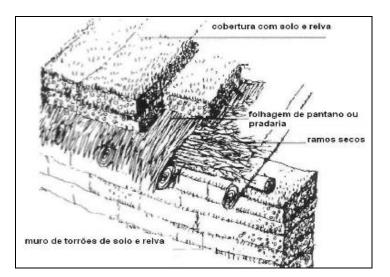


Figura 2. Ilustração de uma cobertura escandinava, feita com torrões de solo, relva e folhagem. Fonte: Minke (2003).

Diversas regiões do mundo ainda constroem telhados verdes a partir dessa mesma técnica, aperfeiçoando alguns fatores da estrutura, como mostrado na Figura 3.



Figura 3. Fotografia da instalação de telhado vegetal a partir de torrões de solo transportados e précolonizados por vegetação nativa. Fonte: **www.safeguardeurope.com**, acesso em 27/06/2010.

Segundo autores como De Lorme (1996), desde o período renascentista, os tetos com vegetação eram comuns na cidade de Gênova, na Itália. No período pré-colombiano, também existiam em outros países, como no México. Durante os séculos XVI e XVII, a Índia e algumas cidades espanholas já tinham também coberturas com vegetação. A partir do século XVIII começaram a surgir em algumas cidades francesas.

Somente com a descoberta de materiais mais resistentes e duráveis para a criação de abrigos modernos, como o concreto em meados do século XVIII, foi possível modificar a arquitetura tradicional e expandir o uso de telhados verdes em algumas regiões da Europa e da América do Norte, onde foram usados largamente por simples razões de complementação estética nas edificações, devido a preocupação sobre a degradação da qualidade do ambiente urbano e a redução de áreas verdes (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; PECK et al., 1999).

Segundo Peck et al. (1999), somente no início do século XX os sistemas de telhados verdes deixaram de ser vistos como uma prática construtiva primitiva, permitindo que o sistema contemporâneo de telhado verde fosse amplamente pesquisado e propagado

totalmente em países do continente europeu como Alemanha, Áustria e regiões escandinavas (LAAR; GRIMME, 2006), assim como na América do Norte (Estados Unidos e Canadá) (MONTERUSSO et al., 2005) como mostrado nas Figuras 4,5,6 e 7.



Figura 4. Telhado verde (fábrica Aldi Warehouse), localizado em Murr, Alemanha. Fonte: Pledge (2005).



Figura 5. Telhado verde em residência localizado em Sechelt, Canadá. Fonte: Pledge (2005).



Figura 6. Telhado verde em Pennsylvania, Estados Unidos. Fonte: Pledge (2005).



Figura 7. Telhado verde no norte da Islândia. Fonte: WEBSHOTS (2010).

No Brasil, a prática construtiva de telhados verdes e terraços verdes começou a ser realizada pelo arquiteto e paisagista Roberto Burle Marx, no final da década de 30 do século passado, com os projetos deste gênero de terraços nas construções do Ministério da Educação e Cultura do Rio de Janeiro, Museu de Arte Moderna, na Associação Brasileira de Imprensa e em edifícios da Petrobras, ambos, também, no Rio de Janeiro (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; KÖHLER et al., 2003).

O movimento que levou a essa intensa aceitação de telhados verdes durante o século XX foi o impulso incentivador do governo desses países em diversos programas políticos de admissão e utilização desse sistema de cobertura, atraídos pelos benefícios que poderiam trazer à economia nacional. Como consequência, esse movimento influenciou e subsidiou pesquisas sobre tecnologias de componentes de cobertura verde, agentes inibidores de raízes, materiais drenantes e espécies de plantas apropriadas (PECK et al., 1999), o que levou a um avanço e otimização do sistema.

O governo brasileiro apresentou recentemente propostas sob a forma de legislações para a divulgação e adoção do uso de telhados construtivos em grandes cidades brasileiras. O Estado de Santa Catarina é um exemplo em que o governo local aprovou a Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007, que dispõe sobre implementação de sistemas de naturação por meio da criação de telhados verdes em espaços urbanos. No Estado de São Paulo, projetos de lei foram apresentados na capital, projeto de lei nº: 115/2009, que dispõe sobre o uso obrigatório de telhado verde para edificações acima de três pavimentos e no município de São Caetano-SP, no ano de 2009, que dispõe sobre a instalação de telhados verdes em imóveis comerciais e residenciais, além de um projeto de lei federal de 2009, que sugere diretrizes e obriga o uso de telhados verdes para centros urbanos brasileiros com mais de 500 mil habitantes.

De acordo com Peck et al. (1999), a dificuldade em se aprovar legislações relacionadas à medidas de boa prática de manejo, como no caso dos telhados verdes, é geralmente a falta de conhecimento dos profissionais envolvidos e o desinteresse político. Todavia, quando há um empenho por parte do poder público em criar leis que favoreçam o uso de técnicas que combatam ou mitiguem os impactos negativos no meio urbano, surge o empecilho pela exigência e difícil formação de um comitê técnico, composto por representantes da administração municipal, entidades empresariais e organizações ligadas ao desenvolvimento urbano e ao meio ambiente, que será responsável por formular diretrizes e marcos regulatórios.

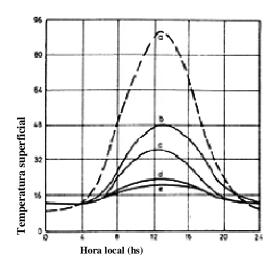
Na Alemanha, como meio de estabelecer o sucesso de implantação da tecnologia de telhados verdes, foram estabelecidos planos, guias e normas, como o *Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof,* iniciado pelo governo e conduzido pela organização "*The Landscape Research, Development and Construction Society*" (FLL), publicado em 1990 e revisado em 1995 e 2002, no qual indicam e orientam os métodos, materiais e técnicas, adequadas para o planejamento, instalação, execução e manutenção de telhados verdes.

Em geral, telhados verdes contemporâneos apresentam alguns benefícios conhecidos como os citados a seguir:

• Moderação da temperatura interna de edificações:

O bloqueio da radiação direta no solo é o principal fator que favorece o menor ganho de energia térmica para um telhado verde. Segundo Wong (2003), em testes empíricos encontraram-se valores de temperaturas maiores sob as vegetações mais esparsas, enquanto menores valores de temperaturas foram encontrados sob vegetações com folhagens mais densas e menos espaçadas, considerando desejável a utilização de um cultivo com o maior adensamento de plantas possível.

Uma comparação feita por Gertis (1977) (Figura 8) revela a diferença de valores de temperaturas tomados em diferentes superfícies frente a um dia de elevada radiação.



- a revestimento betuminoso negro
- b cascalho, cor clara
- c pintura clara reflexiva
- d cobertura vegetal saturada
- e cobertura vegetal seca

Figura 8. Valores de temperatura indicando a atenuação térmica acumulada em diferentes materiais usados como cobertura. Fonte: Gertis (1977).

A formação de uma camada isolante em função do uso de solo somado a cobertura vegetal foi comprovada por Onmura (2000), que registrou diferença de 30 °C de uma laje nua comparada com uma com coberta com telhado verde, quando exposta a uma temperatura ambiente de 38°C durante o verão no Japão.

Medições realizadas em Cingapura por Wong et al. (2003) investigando o impacto térmico causado pelos telhados verdes e telhados sem vegetação, na redução das temperaturas de superfície e redução de ganho de calor, revelaram o efeito positivo dos telhados verdes,

que apresentaram diferença máxima de 4.2°C de temperatura em comparação ao telhado sem vegetação (Figura 9).

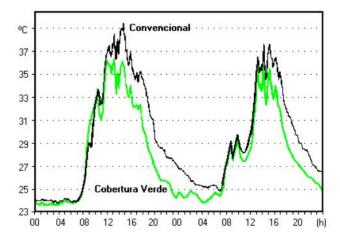


Figura 9. Temperatura do ar de superfície em ambientes com telhado verde e sem telhado verde. Fonte: Wong et al. (2003).

O mesmo efeito de diminuição de temperatura foi comprovado por Vecchia (2005), utilizando uma cobertura de telhado verde em protótipos de habitação experimental de alvenaria, com dimensões de 2.3 m x 2.70 m, monitoradas por sensores de temperatura, o qual registrou diferença de 8.0°C em relação à temperatura ambiente que era de 34°C, sendo que a amplitude térmica registrou 9.2°C e no ambiente externo o registro foi de 21.4°C.

• Contenção temporária da água de chuva

De acordo com Monterusso et al. (2004) e Schade (2000), a utilização de telhados verdes como ferramentas de controle do deságüe de precipitações nos grandes centros urbanos, de certa forma, contribui para práticas de manejo de mitigação a enchentes.

Em uma área urbana, a impermeabilização das superfícies impede a infiltração e o amortecimento da velocidade de escoamento das águas de precipitação, assim como é percebida em áreas com cobertura vegetal, como mostrada na Figura 10.

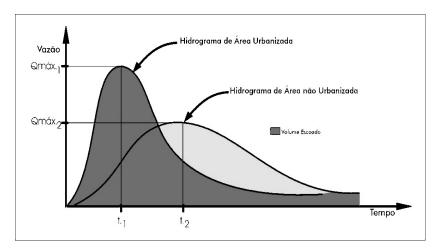


Figura 10. Hidrogramas representando a vazão em função do tempo de escoamento de águas pluviais. Fonte: Collischonn e Tassi (2008).

Isolamento acústico

Segundo McMarlin (1997), coberturas verdes reduzem a propagação do ruído através da absorção, reflexão e dispersão do som. Segundo McMarlin (1997) e Raza (1991) nos telhados verdes, o solo tende a bloquear as freqüências de som mais baixas e as plantas as frequências mais altas, podendo reduzir aproximadamente 40dB em uma camada de substrato de 0.12m de terra e 46dB em uma camada de 0.20 m de terra.

• Limpeza de poluentes atmosféricos

As plantas podem contribuir com a redução de poluentes atmosféricos considerados como nocivos a saúde humana, como óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, material particulado e ozônio, simplesmente absorvendo-os pelos estômatos das folhas, adsorvendo-os pela superfície das plantas e pela deposição estática sobre a superfície da planta.

Johnston e Newton (2004) estimaram que 2.000 m² de vegetação em um telhado verde pode remover até 4.000 kg de partículas em suas folhas e caules. Tan e Sia (2005), monitorando valores de temperaturas de telhado, além de parâmetros de qualidade do ar em coberturas convencionais e coberturas verdes em Cingapura, por meio de equipamentos eletrônicos como amostradores de luz, contadores de partículas e uma estação meteorológica entre outros sensores, relataram que poluentes ácidos gasosos reduziam os níveis significativamente após a instalação de telhados verdes. De acordo com Currie et al. (2008), os telhados verdes podem ser usados em áreas urbanas para complementar a vegetação

existente e melhorar a qualidade do ar quando instalados em quantidades suficientes e representativas.

Outro aspecto positivo dos telhados verdes descrito na literatura é, embora ainda não completamente provado cientificamente, o efeito atenuador da formação de ilhas de calor urbano (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; PECK et al., 1999; PLEDGE, 2005), defendido em estudos preliminares por simulações computacionais por Bass (2003).

Vantagens econômicas também são alcançadas com a instalação e manutenção de telhados verdes: reduz-se em 2 a 7 % o consumo anual de energia elétrica causada principalmente pelo uso de condicionadores de ar (NIACHOU et al., 2001; WONG et al., 2003).

Sensações de bem-estar psicológico também contribuem para a valoração dos telhados verdes, que agem como meio de integração do meio urbano à natureza, além de recuperar vantagens estéticas e ecológicas (BÖNING, 2006; JOHNSTON; NEWTON, 2004; SCHRADER).

Outro benefício gerado pelos telhados verdes é a fonte para produção local de alimentos, explorada em alguns países como Haiti, Colômbia, Tailândia e Rússia, que os associam a projetos sociais e de sustentabilidade designados como agricultura integrada ao ambiente urbano, que, por sua vez, geram melhoria de qualidade de vida, servindo como área de cultivo de verduras e hortaliças, suprindo, de certa forma, deficiências locais (BANTING et al., 2005; GARNETT, 1997). Porém, deve-se atentar aos riscos de contaminação do solo em centros urbanos altamente populosos, em função da deposição natural de partículas nocivas no substrato.

Coberturas verdes ou telhados verdes são geralmente classificados em dois tipos, caracterizando-se pelo propósito de construção como intensivas e extensivas, diferenciadas em função da escolha da vegetação e profundidade de solo (Figura 11).

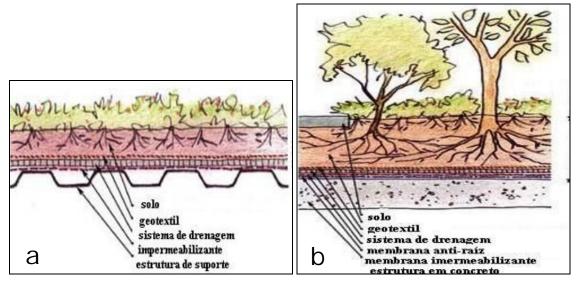


Figura 11. (a) Ilustração do perfil de um sistema de telhado extensivo e (b) de um telhado intensivo. Fonte: *Australia's guide to environmentally sustainable homes, by* Paul Downton.

Alguns materiais desse sistema são comuns entre os dois tipos, sendo formados por uma membrana impermeabilizante aderida à estrutura de sustentação, por um sistema de drenagem e uma manta de filtragem de sedimento, como mostrado na Figura 12, podendo, em alguns casos, ser acrescidos de estruturas armazenadoras de água sob a manta filtrante para suprimento prolongado de água ao solo.

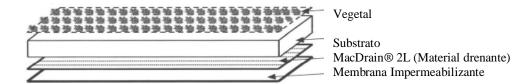


Figura 12. Estrutura simples de um telhado verde extensivo. Fonte: Farzaneh et al. (2005).

Telhados verdes extensivos apresentam substrato mais delgado (0.02 a 0.15 m), comunidade de vegetação resistente e rasteira como gramíneas, crassuláceas e pequenos arbustos (FARZANEH et al., 2005). Possuem características de rápida cobertura do substrato, resistência às condições extremas de clima (ampla faixa de tolerância), conjunto de características que sugere menor manutenção após o período de estabelecimento (DURHMAN et al., 2007). Este sistema atribui menor carga à estrutura (SZOKOLAY, 1998), somando um peso aproximado de 80 a 200 kg/m² (PECK; KUHN, 2004; VECCHIA et al., 2004).

Telhados verdes intensivos requerem, em média, de 0.20 m a 1.20 m de profundidade de substrato para servir de suporte a uma grande diversidade de vegetais como árvores, arbustos e flores. Essas coberturas podem ser utilizadas como locais de recreação e convivência, requerendo alto investimento inicial e manutenção periódica (em função da maior produção de matéria orgânica, crescimento vertical e diversidade de espécies), além de atribuir maior carga à estrutura construída em comparação ao sistema extensivo (SZOKOLAY, 1998), podendo somar um peso de 290 a 970 kg/m² à estrutura de sustentação (PECK; KUHN, 2004).

Segundo Minke (2003), outro parâmetro relevante que caracteriza a escolha do tipo de cobertura (extensiva ou intensiva) de um projeto de telhado verde é a declividade adotada. Ele sugere caracterizar a projetos horizontais, coberturas com substratos mais profundos. As declividades comumente utilizadas, segundo o autor, estão no intervalo de 0° (0%) a 40° (84%) (Figura 13), classificadas como tetos planos (0°), tetos com pouca inclinação (3°) ou (5%), tetos com inclinação moderada (20°) ou (36%) e tetos com muita inclinação (40°) ou (84%).

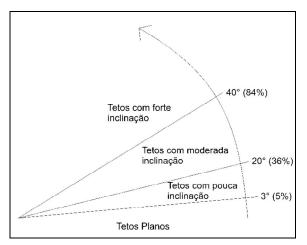


Figura 13. Variação das inclinações adotadas entre 0° e 45° para telhados verdes extensivos. Fonte: Minke (2003).

De acordo com Minke (2003), a declividade de 3° (5%) é considerada satisfatória economicamente, por não necessitar de sistema de drenagem específico e técnicas de estabilização e contenção de movimentos de cargas de solo (Figura 14), embora Dunnett e Kingsbury (2008) sugiram inclinação mínima em função de escorregamentos de solo entre 3° (5%) e 9.5° (17%), podendo ser acentuada em até 30° (58%) com a aplicação de sistemas de contenção de movimentos de cargas de solo.



Figura 14. Modelo de estrutura adicional para contenção de movimento de solo em inclinações acentuadas. Fonte: Dunnett e Kingsbury (2008).

Segundo VanWoert et al. (2005) e Getter et al. (2007a), a combinação de declividades baixas (2 a 6.5%) e o aumento da profundidade do solo para sistemas extensivos reduzem consideravelmente a quantidade de escoamento superficial, podendo reter de 60 a 100% da precipitação de entrada (MONTERUSSO et al., 2004), embora Getter et al. (2007) mostrem resultados de retenção de até 76.4% em inclinação de 25%, com solo de 0.06 m, quando associados a uma manta higroscópica de lã de rocha (Xeroflor® XF159) e cobertura de 100% do solo por espécies de plantas *Sedum album, Sedum acre e Sedum Spurium*.

O interesse em pesquisas sobre telhados verdes pelo mundo é crescente entre o meio acadêmico, como em Hong Kong (Hong Kong University), Alemanha (University of Applied Sciences Neubrandenburg), Estados Unidos (Michigan State University, Penn State University, North Carolina State University), Austrália (Central Queensland University), Inglaterra (University of Sheffield) e Brasil (Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Santa Catarina e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul), no qual surgem com o propósito de aperfeiçoar tecnologias que visem sustentabilidade e uso racional de energia. Tais pesquisas buscam inovações que tornem o sistema mais eficiente em todos os aspectos e, ao mesmo tempo, com menor peso, custo e manutenção (GETTER et al., 2007; LAAR et al., 2001; MONTERUSSO et al., 2005; ROSA D'ÁVILA, et al., 2010; WONG et al., 2003; VANWOERT et al, 2005; VECCHIA, 2005).

A maioria dos estudos científicos sobre telhados verdes está relacionada ao clima temperado, sendo poucos os centros que estudam o sucesso do sistema em climas tropicais. Essas pesquisas abordam estudos empíricos sobre mitigação e técnicas de contenção de águas

pluviais, qualidade do ar e da água de escoamento de telhados, comportamento térmico, eficiência energética (redução do uso de condicionadores de ar), avaliação no provável efeito atenuador de ilhas de calor urbano e escolha de espécies vegetais apropriadas (DEL BARRIO, 1998; GETTER et al., 2007; GETTER et al., 2007a; USEPA, 2003; WONG et al., 2003; VANWOERT et al., 2005; VANWOERT et al., 2005a;). Esses estudos têm sido conduzidos utilizando-se plataformas reduzidas simulando telhados, para avaliar o sucesso de sobrevivência, persistência, cobertura do solo e crescimento de variedades de espécies vegetais de pequeno e grande porte, sob várias condições de profundidade do substrato, estresse térmico e hídrico (DURHMAN et al., 2007; HEINZ, 1985), além de propriedades físicas, custos de implantação e manutenção (DUNNETT; NOLAN, 2004; PORSCHE; KÖHLER, 2003).

4.2 Elementos do sistema de telhado verde

4.2.1 Impermeabilização

O uso da membrana impermeabilizante é fundamental para a proteção da estrutura de suporte à cobertura (PLEDGE, 2005). Segundo a publicação do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), a impermeabilização de telhados verdes deve considerar um grande esforço mecânico, problemas emergentes em caso de incêndio, desgaste pela água, microrganismos, além de possíveis substâncias químicas que se infiltrem pela cobertura plana que se encontra por debaixo de uma cobertura verde.

Comumente são utilizados membranas impermeabilizantes fabricadas de membranas termoplásticas (PVC), resinas sintéticas e betume modificado, conhecidas sob a forma de manta asfáltica de alumínio ou manta asfáltica de polietileno.

Segundo Pledge (2005), membranas termoplásticas, também conhecidas como Cloreto de polivinila (PVC), são termoplásticos polimerizados, adicionados de um tratamento de maleabilidade, geralmente fabricados em chapas e encaixados nas juntas sobre o telhado plano, sendo em seguida aquecidos para selamento da superfície (Figura 15).



Figura 15. Instalação de membrana impermeável a base de PVC, em teste de estanqueidade. Fonte: Pledge (2005).

Segundo Wollet (2000), as mantas de PVC são muito utilizadas pela sua praticidade, preço e resistência contra as raízes, embora o PVC promova impactos ambientais, como a liberação de produtos carcinogênicos e irritantes durante a sua fabricação e a baixa capacidade de reciclagem após o seu descarte.

Já as resinas sintéticas são polímeros preparados via polimerização por diferentes processos químicos, podendo ser aplicados diretamente à superfície desejada, que por sua vez sofre uma fixação, formando uma película protetora, gerando o tamponamento dos poros da superfície.

O Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI) normatiza que a impermeabilização mais indicada para telhados verdes combine armaduras de poliéster com betume modificado, que é um aglomerante da manta asfáltica, plastomérica ou elastomérica, fabricado pela fusão de betume com feltros orgânicos, gerando um subproduto, onde são adicionados outros materiais como polímeros, para adquirir flexibilidade, elasticidade e força (Figura 16), podendo ainda ser adicionados outros componentes como alumínio e polietileno, além de aditivos herbicidas em mono ou dupla camada, a fim de inibir a penetração de raízes das plantas na estrutura.



Figura 16. A manta de betume modificado é aquecida até o derretimento do aglomerante e a completa fixação na superfície da estrutura. Fonte: Pledge (2005).

4.2.2 Barreira contra raízes

Geralmente, a aplicação de uma membrana impermeabilizante pode garantir a proteção contra umidade sobre o telhado, porém pode sofrer perfuração por raízes, prejudicando o estancamento e causando fissuras as quais podem evoluir para uma patologia construtiva que necessite de intervenções.

De acordo com Pennigsfeld² et al. (1981 *apud* MINKE, 2003), telhados verdes em experimentação que continham membranas betuminosas simples de 0.015m de espessura, agindo como membrana impermeabilizante, foram perfurados por diversas raízes de plantas em teste, o que, segundo o autor, foi causado por certos micro-organismos que vivem nas extremidades dos sistemas radiculares, dissolvendo o material betuminoso (Figura 17). O mesmo autor afirma ainda que também existem plantas que, quando captam umidade, fortalecem o sistema radicular a ponto de se tornarem potencialmente invasivos, podendo ocasionar pequenas fissuras em uma superfície que seja constituída principalmente por silicatos.

² PENNINGSFELD et al. Prüfung verschiedener Wurzelschutzbahnen für Dachgárten. **Garten und Landschaft,** v.8, p. 584-591. 1981.

_

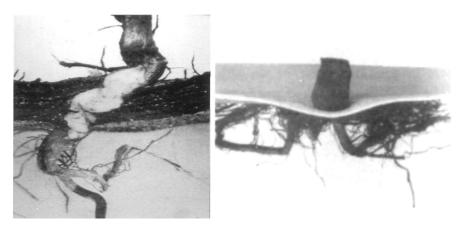


Figura 17. Perfuração causada por raízes em uma membrana asfáltica de 0.015 m de espessura após 15 meses de crescimento. Fonte: Pennigsfeld et al. (1981 *apud* MINKE, 2003).

Para proteger a estrutura de suporte do efeito invasivo das raízes de algumas plantas, é recomendada a aplicação de membranas impermeabilizantes mais resistentes, com reconhecimento por normatização ou órgão oficial competente (como citado no item 4.2.1), além de uma cobertura extra sobre essas membranas com uma folha de polietileno ou borracha de alta densidade com 1 mm de espessura (MINKE, 2003).

4.2.3 Sistema de Drenagem

Manter a drenagem adequada em um telhado verde é extremamente importante para o êxito do sistema. Esse procedimento garante a proteção da membrana impermeável da cobertura, além de remover o excesso de água acumulada, evitando a saturação prolongada do solo, que comumente pode causar a falha de plantas, podridão e eventual morte do sistema radicular vegetal (KINSBURG; DUNETT, 2008).

A precipitação de entrada em um telhado verde é, em parte, absorvida pelas plantas através das folhas ou raízes, embora também seja armazenada entre o substrato, aderida às partículas de solo ou pelo preenchimento de poros e espaços vazios. Segundo alguns autores (GETTER et al., 2007; MENTENS et al., 2006; MONTERUSSO et al., 2004), em experimentações no norte dos Estados Unidos, sob eventos de precipitação (< 2 mm), a maior parte da água, ou toda ela, permanece retida no solo, voltando para a atmosfera como vapor de água. No entanto, durante eventos de precipitações mais intensos para esta região (> 10 mm),

telhados verdes extensivos atrasam e reduzem significativamente a quantidade do escoamento de precipitação do telhado entre 55% e 75% para sistemas com inclinação de até 25% e, em telhados intensivos, alcançam entre 75% e 90% de retenção, podendo esses valores variar conforme o teor de umidade do solo, a inclinação adotada e a quantidade de materiais higroscópicos associados ao solo. No entanto, a frequência de ocorrência de precipitações em intervalos muito pequenos diminui consideravelmente a capacidade de retenção da precipitação de entrada, o que reflete que tais resultados podem não ser admitidos como uniformes ou atingir a mesma capacidade de retenção para outras regiões do planeta.

Para o Brasil, Cunha (2004) realizou testes semelhantes em um protótipo experimental de telhado verde existente na Escola de Engenharia de São Carlos –SP, de dimensões de 2.30 m x 2.70 m, com inclinação de 10% e preenchido por 0.10 m de solo mineral, cultivado 100% com grama-esmeralda (*Zoysia japonica*) e sem uso de materiais auxiliares na retenção de água. Obteve resultados satisfatórios para eventos de precipitações menores ou iguais a 17 mm, podendo conter temporariamente até 14 mm da precipitação de entrada antes do início do escoamento e retendo no solo cerca de 37%. Esses resultados foram validados para solo seco, com cinco dias anteriores sem eventos de precipitação e durante o período de inverno.

De acordo com o Instituto Alemão de Normalização (DIN), a norma 1986/1978 estabelece que para um telhado verde extensivo com profundidade de substrato de no mínimo 0.10 m ser considerado como eficiente no aspecto de drenagem, ele deve ser planejado a fim de obter um coeficiente de deságue de no máximo 30% da precipitação de entrada, minimizando desta forma o sobrecarregamento das galerias de captação pluvial.

De acordo com Kinsburg e Dunett (2008), os materiais geralmente utilizados para formar um sistema de drenagem são: cascalho, pedras, materiais cerâmicos, pedra-pomes e xisto expandido, os quais contêm grande quantidade de ar ou espaço poroso entre si formando um volume sólido lacunoso. Também são utilizados materiais mais elaborados e oficialmente testados e indicados pelas organizações (FLL-Landscape Research, Development & Construction Society e ASTM-American Society for Testing and Materials) como as mantas geotêxteis, compostos de material orgânico polimérico sintético, formando uma estrutura de alta vazão, revestida por uma capa de filtro têxtil.

4.2.4 Substrato

O solo é outro componente bastante estudado em áreas da ciência como a micrometeorologia agrícola e importante fator em sistemas de telhados verdes, em função de suas propriedades térmicas e o do seu consequente comportamento como trocador de energia térmica com a atmosfera (CHANG, 1971).

Segundo Brady (1989) e Chang 91971), a temperatura do solo tem íntima relação e influência direta nos aspectos de desenvolvimento das plantas, como germinação de sementes, atividade funcional das raízes (MONTERUSSO et al., 2005), taxa e duração do crescimento das plantas, e ocorrência e severidade de doenças.

Segundo Sandanielo (1983) e Schöffel e Mendez (2005), o ciclo diário de temperatura de camadas estratificadas de um solo, medido pelo registro automático de dados a cada hora e em profundidades padronizadas de 0.02m, 0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m, 0.50m e 1m de acordo com especificações de *World Meteorological Organization* (WMO), varia segundo a presença e o estado biológico de cobertura vegetal acima estabelecidos, levando-se em consideração as propriedades físicas do solo (MOTA, 1979; SALTON et al., 1998).

O fluxo de calor percorre o solo por condução através dos materiais sólidos, enquanto que, através dos poros, o calor age por condução, convecção e radiação (JACKSON e TAYLOR³ (1986 *apud* DUARTE, 2004)).

Os solos consistem de quatro componentes principais divididos em substâncias minerais, substâncias orgânicas, água e ar. Considerando-se o volume total do solo em condições favoráveis ao crescimento vegetal, metade é material sólido com cerca de 45% de substância mineral e 5% de matéria orgânica; outra porção é de espaços vazios, da qual cerca de 25% são preenchidos por água e 25% preenchidos por ar, proporções, que podem variar constantemente (BRADY, 1989) (Figura 18).

³ JACKSON, R.D. & TAYLOR, S.A. Thermal conductivity and diffusivity: laboratory methods.

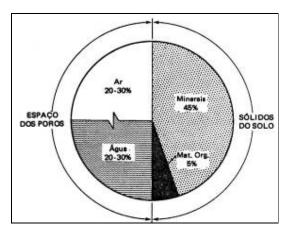


Figura 18. Composição volumétrica de um solo superficial apresentando boas condições para crescimento vegetal, onde a água e o ar possuem quantidades variáveis e a outra proporção é determinada por minerais sólidos. Fonte: Brady (1989).

Em coberturas verdes leves, estudos relacionados à composição ideal de substrato para cada tipo de planta, tanto quanto à fertilidade, como o peso e a temperatura (LIN;LIN, 2011; ROWE et al., 2006), estão sendo amplamente pesquisados como um importante fator de sucesso na eficiência dos sistemas de telhados verdes extensivos com espessuras de solo que variam entre 0.02 e 0.15 m (DUNNETT; KINGSBURY, 2008).

A composição adequada do substrato para telhados verdes extensivos é discutida por diversos autores (MILLER, 2003; BEATTIE et al., 2004) e Hitchmough⁴ (1994 *apud* DUNNETT; KINGSBURY, 2008), indicando, em geral, solos com característica arenosa a pedregulhosa, com granulometria variando de 0.06 mm a 20 mm e em quantidade predominante de cerca de 70%, com macroporos com valor aproximado de 50%, os quais serão em parte preenchidos por ar, facilitando uma boa drenagem e não comprometendo o sistema radicular das plantas. Essa composição pode ainda conter adição de argila expandida por possuir pouca massa com grande retenção de água (cerca de 28% de retenção de seu volume), que será liberada vagarosamente para o solo. Todavia, esses autores ainda sugerem que substratos com pequena quantidade de silte é considerada como aceitável, variando a graduação do solo a fim de reter umidade, compensando assim a baixa retenção de solos arenosos.

⁴ HITCHMOUGH, J. **Urban Landscape Management**. Sydney: Incata Press, 1994.

Segundo Brady (1989), compostos como matéria orgânica possuem grande capacidade de retenção de água em função da capacidade de reter íons nutrientes e de troca de elétrons, aumentando consideravelmente o teor de umidade do solo. Embora seja importante como meio de retenção de água e disponibilidade de nutrientes, Miller (2003) sugere que sejam utilizadas quantidades de matéria orgânica entre 6 e 15% do volume total do substrato, em função de o processo de decomposição desse material ser continuado e oferecer consequente sequestro e oxidação de nitrogênio disponível no solo para a forma de nitrato, alertando que a escolha da proporção inadequada possa se tornar prejudicial à comunidade vegetal quando aliada a um solo de baixa fertilidade.

As sugestões de graduação de substrato para telhados verdes descritos acima são desenvolvidos com base no desempenho de experimentações conduzidas em regiões de clima temperado, com comunidade de plantas diversificada, tentando atender aos propósitos de cada pesquisador e ao clima de cada região.

De acordo com Dunnett e Kingsbury (2008), materiais industrializados, como argila expandida, cerâmica e hidroretentores, combinados com outros materiais minerais como areia e silte estão sendo utilizados com sucesso como substrato artificial para plantas, além de minerais artificiais e matérias reciclados. Esses componentes expandidos e em forma de grânulos podem alcançar uma capacidade de retenção de umidade semelhante ou superior à da matéria orgânica presente em solos convencionais. Entre os vários tipos de materiais conhecidos para o uso como substratos de telhados verdes, os mais utilizados estão descritos na tabela 1, a seguir.

Tabela 1- Relação de materiais comumente usados como substratos em telhados verdes. Fonte: Dunnett e Kingsbury (2008).

| Materiais | Característica | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Minerais Naturais | | | | | | |
| Areia | A granulometria pode influenciar taxas de retenção de água e | | | | | |
| Aleia | drenagem, podendo requerer irrigação constante. | | | | | |
| Escória de lava e pedra-pomes | Leve e valioso se disponível localmente. | | | | | |
| Cascalho | Relativamente pesado. | | | | | |
| Minerais Processados | | | | | | |
| Perlita | Partículas não retêm umidade. Tende a desintegrar com o tempo. | | | | | |
| | | | | | | |

continua

| Vermiculita | Muito leve, pouca retenção de água e de nutrientes. Pode | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| | desintegrar-se ao longo do tempo. | | | | | |
| Argila expandida e xisto | Leve, produzem grandes quantidades de poros devido ao seu | | | | | |
| expandido | tamanho e absorvem água por causa da sua natureza porosa. | | | | | |
| Lã mineral | Muito leve, gasto energético de produção alto, retém água, mas sem | | | | | |
| | capacidade de retenção de nutrientes. | | | | | |
| Materiais reciclados e resíduos | duos | | | | | |
| | Estável e uniforme, alguns nutrientes e retenção de umidade. | | | | | |
| Entulho de tijolo e telha triturados | Escombros de tijolos podem conter argamassa e cimento que irão | | | | | |
| | elevar o pH do substrato. | | | | | |
| | Limitada retenção de umidade e disponibilidade de nutrientes. pH | | | | | |
| Concreto triturado | alcalino. No entanto, baratos e disponíveis em quantidade como | | | | | |
| | material de demolição. | | | | | |
| | Pesado, de baixa fertilidade, prontamente disponível como | | | | | |
| Subsolo local | subproduto da construção. | | | | | |
| | | | | | | |

A escolha dos materiais utilizado no substrato de um telhado verde e o conhecimento da densidade aparente de cada material favorecem o projeto da edificação, além de minimizar os custos com estruturas ou consumo de materiais desnecessários. Os valores de massa específica conhecidas de alguns materiais utilizados em telhados verdes estão indicados na tabela 2.

| MATERIAL | kg/m³ |
|--|-------|
| Areia fina seca | 1446 |
| Areia fina úmida | 1928 |
| Serragem seca de cedro com fertilizante | 148 |
| Serragem úmida de cedro com fertilizante | 208 |
| Turfa e musgo secos | 154 |
| Turfa e musgo úmidos | 165 |
| Lava vulcânica seca | 803 |
| Lava vulcânica úmida | 863 |
| Serragem seca de madeira vermelha | 237 |
| Serragem úmida de madeira vermelha | 356 |
| Vermiculita grossa seca | 100 |

4.2.5 Vegetação

A formação vegetal viva é um dos importantes componentes que formam o sistema de cobertura verde leve, o qual contribui, de certa forma, para a eficiência dos aspectos benéficos gerados pelo sistema como cobertura potencial.

A escolha de espécies vegetais apropriadas ao clima local, sejam elas nativas ou não, que sobrevivam com êxito a aspectos limitantes como espaço, profundidade e nutrição, favorece a otimização de suas funções ecológicas, estéticas e econômicas, tornando-se, deste modo, viável para a implantação em coberturas, diminuindo custos com replantio, manutenção e irrigação, além de atingir melhores resultados entre outros benefícios citados (DURHMAN et al., 2007).

Segundo Monterusso et al. (2005), resultados satisfatórios de experimentos obtidos com espécies da flora do norte da Europa por exemplo, não acontecem bem em certas regiões do oeste dos Estados Unidos, pelo fato de o clima das duas regiões apresentar diferenças, o que não favorece características metabólicas da espécie vegetal trabalhada, prejudicando a viabilidade, custo ou otimização do sistema de telhado verde.

De acordo com Snodgrass e Snodgrass (2006), não há estabelecida uma lista padrão de plantas recomendadas para uso em telhados vegetados, mas, sim, indicações de espécies potencialmente favoráveis para cada localidade, a qual possui características peculiares que devem atender à escolha mais adequada com base em observações e experiências próprias.

De acordo com Modesto (1981), do ponto de vista morfológico, as plantas com raízes pivotantes ou axiais devem ser evitadas em cultivo de profundidade muito limitada, pois crescem em direção vertical, com muita força em busca de água, sendo portanto a melhor escolha para este tipo de aplicação plantas com raízes fasciculadas, que se desenvolvem com feixes longos e finos em todas as direções.

Durhman et al. (2007) e Monterusso et al. (2005), ao compararem métodos de propagação, taxa de crescimento, sobrevivência, cobertura e persistência, como meio de explorar o potencial de espécies para uso em coberturas extensivas, concluíram que plantas suculentas do gênero *Sedum* apresentam adequabilidade para aplicação em telhados verdes extensivos no noroeste dos Estados Unidos, por suportar com sucesso climas de frio e calor extremo (-25°C a +30°C), comparadas a outros tipos de vegetais como gramíneas, pastos e

arbustos (ver Apêndice A), difundindo o uso dessas espécies pelo país, por meio de informativos e trabalhos científicos.

Para as regiões de clima temperado e subtropical como China e Japão, um relatório oficial do departamento estatal chinês *Architectural Services Department*, de 2006, indicou dezenas de plantas adequadas ao uso em telhados verdes, entre elas as dos gêneros *Arachis*, *Ophiopogon, Portulaca* e *Sedum*, cultivadas em solos drenados e de profundidades de 0.10m a 0.15m (ver Apêndice B).

Para regiões de clima mediterrânico, Spala et al. (2008) recomenda as espécies vegetais Nerium oleander, Pyracantha sp., Myoporum sp., Cotoneaster franchetti, Hibiscus syriacus, Cassia corymbosa e Spiraea thumbergii.

Em regiões de clima tropical como Havaí, Cabugos (2008) realizou experimentos em canteiros de cultivo monitorados, selecionando para o plantio espécies nativas, submetidas ao sistema de cobertura extensiva, em que sugeriu para essa região as espécies *Carex wahuensis*, *Sesuvium portulacastrum, Sida fallax, Sporobolus virginicus* e *Vitex rotundifolia*.

Para regiões de clima equatorial como Cingapura, os autores TAN e SIA (2005), indicam espécies como *Aptenia cordifolia, Bryophyllum fedtschenkoi, Kalanchoe tomentosa, Portulaca grandiflora, Portulaca oleracea, Sedum acre, Zephyranthes rósea*, entre outras (ver Apêndice C).

Para o Brasil, Laar et al. (2001) realizaram um estudo durante a primavera e verão totalizando 5 meses, na região do litoral sudeste do país, em que sugeriu com ressalvas e poucos critérios, uma seleção de plantas para cultivo em telhado verde extensivo para aquele local, em solos de 0.10 m, sendo estas as espécies *Asparagus sprengeri, Bulbine caulescens, Liriope muscari, Pilea microphylla, Portulaca grandiflora, Rhoeo discolor e Setcreasea purpurea*.

Segundo Cabugos (2008), pouca pesquisa tem sido realizada sobre o efeito da diversidade de plantas, tanto taxonômicas quanto estruturais, em aplicações de telhado verde, e sobre suas potenciais interferências na capacidade de retenção de água pluvial de entrada e redução de flutuações térmicas diárias do solo em relação a uma comunidade vegetal estruturalmente homogêneo.

A escolha adequada do vegetal apropriado para cada região, tomando-se como conhecimentos básicos seus processos fisiológicos e necessidades nutricionais, pode contribuir para o sucesso de sobrevivência por longos períodos sem manutenção, por exemplo, o suprimento de disponibilidade hídrica; pois, à medida que absorvem água do solo, os vegetais perdem parte dela pelo processo fisiológico da transpiração e também pela

diminuição de reserva hídrica presente no solo ao sofrer evaporação direta (KERBAUY, 2004). Em um solo onde há constante perda de água por evaporação durante o dia, as plantas terão dificuldades crescentes de retirar água para balancear a perda por transpiração, levando a um murchamento das células, agravando-se com a elevação do valor da temperatura do ar e presença de vento (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; KERBAUY, 2004). No entanto, de acordo com Brady (1989), esse quadro tende a se moderar durante a noite com a quase interrupção da transpiração, em que as células geralmente retomam o turgor, onde os valores de temperatura do ar são menores.

Segundo Kerbauy (2004), o fenômeno de transpiração aumenta a velocidade de água em movimento, absorção e translocação de nutrientes, que em condições de elevada temperatura e baixa umidade do solo, freqüentemente intensifica esse processo, resultando em estresse de água e injúrias por dessecação.

A capacidade da planta de limitar a perda de água transpirada e a quantidade de dióxido de carbono assimilado pela fotossíntese é conhecida como eficiência no uso da água (equação 1), que varia de acordo com o metabolismo da planta, o qual recebe denominação de acordo com a via de assimilação do CO₂, podendo ser C₃ (o produto resultante da fixação do CO₂ é um composto de 3 átomos de carbono), C₄ (o produto resultante da fixação do CO₂ é um composto de 4 átomos de carbono) e MAC (metabolismo ácido das crassuláceas) (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Eficiência no uso da água = moles de CO₂ fixado moles de água transpirada

Equação 1. Equação de eficiência no uso da água e assimilação de CO₂. Fonte: Kerbauy (2004).

Considerando-se os três grupos de metabolismos fotossintéticos C₃, C₄ e CAM, de acordo com Kerbauy (2004), as plantas pertencentes ao grupo C₃, como a espécie *Ophiopogon japonicus* (BROUSSARD, 2007) e *Arachis repens*, apresentam baixo rendimento energético, perdendo cerca de 500g de água por grama de CO₂ obtido, com uma eficiência no uso de água em torno de 0.002. Plantas do grupo C₄, característica de plantas predominantemente tropicais e subtropicais, como a espécie *Paspalum notatum*, apresentam perdas de 300g de água para cada grama de CO₂ obtido, com eficiência no uso da água em 0.004. Segundo Raven et al. (2007), a fixação de CO₂ em plantas C₄ tem maior custo

energético do que em plantas C₃, porém são mais eficientes no uso do CO₂ acumulado, podendo manter a mesma taxa fotossintética que C₃, mesmo com menor necessidade de abertura estomática, o que gera menor perda de água por transpiração.

Plantas com metabolismo CAM, nas quais também estão incluídas plantas da família *crassulaceae*, apresentam perda de cerca de 60 a 100 gramas de água por grama de CO₂ obtido, com eficiência no uso da água de 0.02, o que revela uma vantagem a esse grupo em condições de pouca disponibilidade hídrica, em função da fixação de CO₂ durante a noite.

No hemisfério Norte, a recomendação do uso de plantas suculentas do gênero *Sedum* spp., para utilização em telhados verdes extensivos, se tornou ideal devido ao seu metabolismo fotossintético e à capacidade de armazenar água em seus tecidos. Classificadas como de metabolismo ácido crassuláceo (CAM), plantas deste gênero abrem seus estômatos para trocas gasosas durante a noite, quando a temperatura do ar é amena, mantendo-os fechados durante o dia, contrariamente ao que ocorre com a maioria de outras plantas terrestres. Plantas desse grupo captam CO₂ atmosférico e o acumulam em uma câmara celular chamada de vacúolo na forma de malato, que é degradado e utilizado na fotossíntese durante o dia em presença de luz solar, limitando dessa forma a perda de água por transpiração. Alguns mecanismos singulares favorecem a sobrevivência de plantas do gênero *Sedum*, como a capacidade de armazenar certas quantidades de água em folhas e brotos, podendo, em caso de extremo estresse hídrico, realocar esta água para tecidos deficientes ou permanecer em dormência (KERBAUY, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Dessa forma, plantas CAM tornam-se até dez vezes mais eficientes em consumo de água do que plantas não CAM, o que lhes dá uma vantagem decisiva quando as condições do telhado verde ditar certas limitações.

4.3 Custos

O custo de implantação de telhados verdes pode variar dependendo da região, da disponibilidade de materiais e mão-de-obra especializada. Wong et al. (2003) afirmam que o custo inicial de projeto e o de instalação para telhados verdes extensivos são inferiores ao de uma cobertura convencional, porém sistemas intensivos geralmente superam os custos tanto para o telhado convencional quanto para o telhado verde extensivo, em função dos ajustes de

projeto e reforços estruturais necessários. Mesmo apresentando alto custo inicial, esses sistemas apresentam um custo de ciclo de vida menor quando comparados a telhados convencionais, o que gera uma economia em longo prazo (KOSAREO; RIES, 2007; MARTENS et al., 2008; SAIZ, et al., 2006), além de causar menor impacto ambiental em relação ao sistema de cobertura tradicional, dimensionado em emprego de materiais que contribuam para a acidificação aquática, eutrofização aquática, liberação de CO₂ e substâncias nocivas à camada de ozônio (KOSAREO; RIES, 2007).

De acordo com Porsche e Köhler (2003), os custos de telhados verdes nos Estados Unidos e na Alemanha são duas vezes maiores que os de um telhado convencional, custando em média \$85 por metro quadrado; no Brasil, o autor considera até 30% desse valor.

Para Luz (2003), o resultado de pesquisas para custo de implantação de telhados verdes extensivos no Brasil, com base monetária no ano de 2002, foi de R\$ 73,41/m² e para o custo de telhados convencionais de telha cerâmica foi de R\$ 81,90m², porém, segundo o autor, os custos do sistema intensivo podem superar o de telhados convencionais devido ao maior consumo de materiais.

O custo de um telhado verde pode variar em função da necessidade ou da viabilidade de implantação de acordo com o interesse dos benefícios visados. Alguns fatores que podem reduzir o custo inicial de um telhado verde são: a escolha do projeto técnico da cobertura bem pensada aliada ao uso de materiais reciclados como componentes do sistema de drenagem e de suprimento de água.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado no município de Itirapina, divisa com município de São Carlos, localizado na região central do Estado de São Paulo, no campus do Centro de Recursos Hídricos e de Ecologia Aplicada - CRHEA da Universidade de São Paulo – USP (coordenadas geográficas 22°10'08"S e 47°53'59"W) a 690 metros de altitude.

O Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada — CRHEA foi implantado em 1976 com o objetivo inicial de fomentar a pesquisa e o desenvolvimento na exploração e proteção dos recursos naturais. O CRHEA está localizado em área rural de 84 hectares junto à Represa do Lobo, localizada entre os municípios de Itirapina e Brotas, distando 16 Km da

cidade de São Carlos, no Estado de São Paulo (Figura 19). A represa do Lobo ou Represa do Broa, foi construída em 1936 para fins de produção de energia elétrica, sendo atualmente utilizada também para pesca e recreação, além de servir de objetos de estudo de inúmeras pesquisas experimentais e aplicadas por pesquisadores do CRHEA-USP.

A vegetação predominante na bacia é o cerrado, com manchas de mata galeria nos solos mais úmidos. Em algumas regiões encontra-se também o reflorestamento com *Pinus sp*, e áreas de agricultura, principalmente a cana-de-açúcar e laranja (IBGE, 2010).

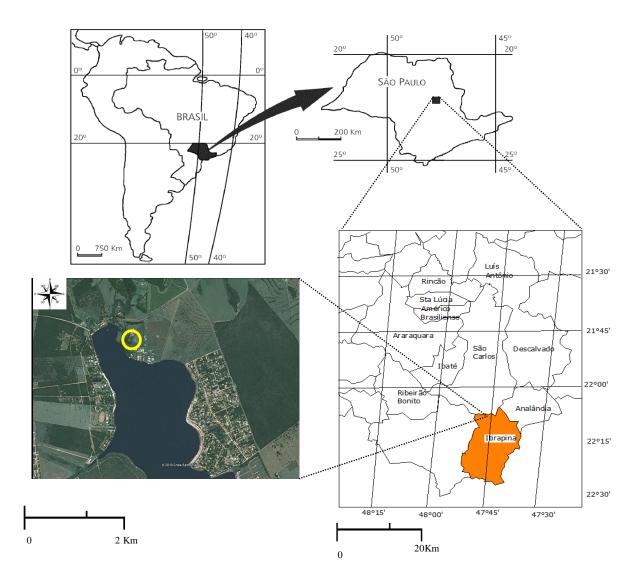


Figura 19. Localização espacial do município de Itirapina, inserido no estado de São Paulo. Fonte: Adaptado de Rietzler, et al. (2002) e imagem de satélite indicando a área de localização do CRHEA (Google Maps, 2011).

O clima da região, com base no estudo das dinâmicas de circulação das massas de ar, dos atributos e fatores do clima referentes à classificação de STRAHLER (1989), é definido como clima tropical alternadamente úmido e seco, com uma estação chuvosa (verão) e outra seca (inverno), com predomínio de massas tropicais e polares, com precipitação anual média de 1.425 mm.

De acordo com as Normais Climatológicas (1961-1990) para o clima de Itirapina, os meses de outubro a março se caracterizam como chuvosos e temperaturas elevadas e, os meses de abril a setembro, como secos e temperaturas amenas, pouca precipitação e baixa umidade relativa do ar com médias mensais abaixo de 70% (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados Climáticos da Região de Itirapina, período 1961-1990. Fonte: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia "Normais Climatológicas (1961-1990)" Brasília-Brasil, 1992.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Temperatura Máxima (C) | 26.8 | 27.2 | 27.0 | 25.7 | 23.6 | 22.7 | 22.1 | 24.3 | 25.0 | 24.7 | 25.7 | 25.2 |
| Temperatura Mínima (C) | 17.5 | 17.7 | 17.2 | 15.5 | 13.2 | 12.0 | 11.4 | 12.5 | 14.2 | 14.7 | 16.0 | 17.2 |
| Precipitação Total (mm) | 248.7 | 191.4 | 167.3 | 73.2 | 61.6 | 40.4 | 30.8 | 30.9 | 65.0 | 157.8 | 160.8 | 267.2 |
| Umidade Relativa (%) | 76.0 | 75.0 | 73.0 | 68.0 | 67.0 | 66.0 | 61.0 | 54.0 | 58.0 | 80.0 | 67.0 | 73.0 |

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

6.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi composto por blocos casualizados com três tratamentos (profundidades) e em três blocos (espécies vegetais), sendo cada um repetido três vezes a fim de submeter os resultados a uma análise estatística de variância, o que gerou nove plataformas, com 27 experimentações, conforme metodologia observada em trabalhos de Monterusso et al. (2005), Durhman et al. (2007) e Cabugos (2008). Os tratamentos foram tidos como níveis experimentais determinados pelas profundidades de 0.05m, 0.075m e 0.10m, semelhante a trabalhos de Durhman et al. (2007), Laar e Grimme (2006) e

Liu e Minor (2005); e os blocos determinados pelas *espécies Arachis repens* (grama-amendoim), *Ophiopogon japonicus* (grama-preta) *e Paspalum notatum* (grama-batatais).

As mudas unitárias dos vegetais foram denominadas de unidades experimentais e foram agrupados em três blocos de acordo com a espécie, de tal forma que, dentro de cada grupo, todas as unidades fossem afetadas igualmente.

Os tratamentos foram posicionados aleatoriamente dentro de cada bloco, em que cada tratamento apareceu em cada um e todo bloco recebeu todos os tratamentos (Figura 20).

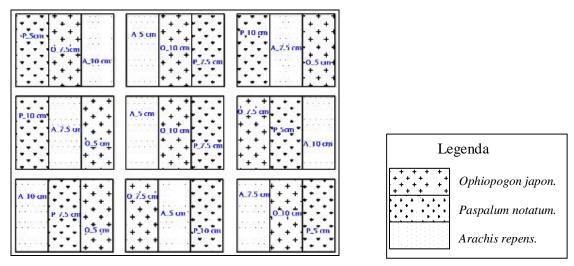


Figura 20. Apresentação da distribuição dos blocos (*Arachis repens, Ophiopogon japonicus, Paspalum notatum*) e em três tratamentos (0.05 m, 0.075 m, 0.10m).

6.2 Construção das plataformas experimentais

As nove plataformas construídas no total, contendo as três repetições de cada espécie, tiveram dimensões adotadas de 2.20 m x 1.10 m, sobre células confeccionadas em chapas processadas e prensadas de resíduos plásticos e de alumínio reciclado de recipientes TetraPak[®], compostas de polietileno de baixa densidade, com misturas de fibras celulósicas vegetais, alumínio e poliéster, com 0.12 m de espessura. Cada chapa foi dividida em três compartimentos também chamados de blocos, medindo 0.73 m x 1.10 m, com área de 0.77m² cada. A escolha do material reciclado como um dos componentes da estrutura das plataformas foi devida à disponibilidade do material e ao menor custo, o que serviu adequadamente a essa

aplicação experimental. As dimensões de 2.20 m x 1.10 m das chapas utilizadas são padronizadas no processo de industrialização do produto.

As bordas e divisórias das plataformas e blocos foram limitadas por placas de madeira com altura de 0.20 m sobre a base da plataforma com a finalidade de conter a movimentação do solo assim como em trabalho de Monterusso et al. (2005) (Figura 21).

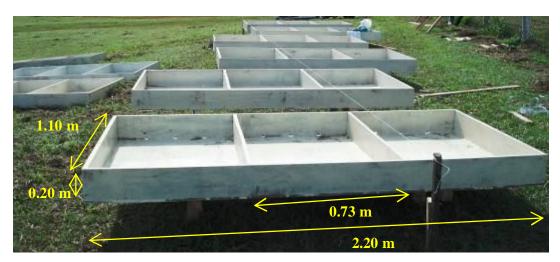


Figura 21. Foto da estrutura e das dimensões das plataformas utilizadas no experimento realizado. Foto: Beatrice (2010).

As dimensões da plataforma adotadas neste experimento são semelhantes às pesquisas empíricas de identificação de espécies vegetais e profundidades de solos apropriados ao uso em telhados vegetados de Durhman et al. (2007), Emilsson et al. (2005) e Monterusso et al. (2005). Segundo Rowe (2008), para este tipo de experimento não é necessário reconhecer obrigatoriamente algum padrão de medida com experimentos semelhantes em outras localidades, devendo atender como prioridade as condições disponíveis ao alcance do pesquisador, embora resultados confiáveis tenham sido conseguidos com dimensões semelhantes em *Michigan State University* (informação pessoal)⁶.

As plataformas foram instaladas a uma altura de 0.15m do solo, suspensas por estruturas de madeira, para evitar o contato direto com o solo (Figura 22). Todas as plataformas tiveram a mesma orientação, em função de sofrerem efeitos iguais do vento e radiação durante a pesquisa, sendo construídas com a mesma inclinação de 3° (5%), a fim de provocar a drenagem lenta de água por gravidade, evitando a saturação constante do solo. A inclinação mínima foi adotada em função da otimização do tempo de contenção de água de chuva, assim

-

⁶ ROWE, Brad. Mensagem enviada por <u>rowe@msu.edu.com</u> em set/2008.

como modelos de estudos de Durhman et al. (2007) e Monterusso et al. (2005). Todavia, segundo Monterusso et al. (2005), a adoção de uma inclinação mínima exagerada poderia favorecer uma possível diferença no desenvolvimento entre as unidades experimentais de cada bloco, em função da diferença do teor de umidade nos pontos extremos da inclinação.



Figura 22. Posicionamento das plataformas experimentais suspensas 0.15 m do solo, por estruturas de madeira, com inclinação de 3 graus (5%). Foto: Beatrice (2010).

Cada plataforma foi construída a fim de representar uma construção típica do conceito de telhado verde, mantendo condições semelhantes entre os tratamentos, sistema de drenagem e manta filtrante, apenas diferenciando em espessura do solo e espécies cultivadas como objetivo de análise.

6.2.1 Impermeabilização

Cada plataforma, depois de construída, recebeu um processo de impermeabilização superficial, com resina poliuretana à base de óleo vegetal de mamona (*Ricinus communis*), desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos, IQSC-USP e fabricado pela Cequil Polímeros Indústria e Comércio Ltda. A impregnação da resina poliuretana sobre a superfície superior da laje de cobertura possibilitou o tamponamento dos poros superficiais com os componentes ainda na forma de monômero, sofrendo polimerização e formando um filme altamente compacto sobre a superfície, promovendo o encapsulamento do material suporte, para evitar a penetração de água e outros agentes eventualmente agressivos na matriz de material.

A aplicação do impermeabilizante foi realizada de forma manual, por meio de equipamentos apropriados e em ambiente ventilado (Figura 23).

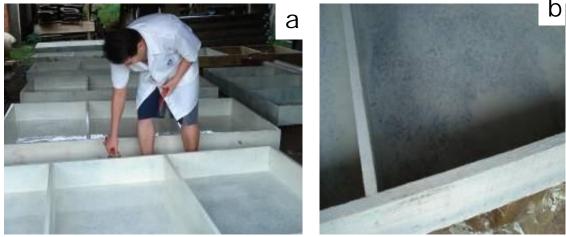


Figura 23. (a) Aplicação da membrana impermeabilizante à base de óleo de mamona (*Ricinus Communis*) nas plataformas experimentais, (b) detalhe da película de resina aderida à plataforma. Fotos: Beatrice (2010).

6.2.2 Sistema de drenagem

Depois de impermeabilizadas as superfícies das plataformas receberam a instalação do sistema de drenagem, do tipo geotextil, modelo *Mcdrain*® *2L* (Figura 24), constituído por uma geomanta tridimensional, com 18 mm de espessura e cerca de 95% de índice de vazios. Este sistema é revestido por uma manta filtrante higroscópica integrada sobre as faces, que impede o carregamento das partículas de solo para o interior do elemento drenante, evitando sua colmatação e consequente perda da vazão, que, segundo o fabricante (MACCAFERRI, 2009), possui característica física para suportar até 5 tf/m² em posição horizontal, com capacidade de drenagem de 144 l/h, cuja função é de não saturar o solo, propiciando condições adequadas para o desenvolvimento e a fisiologia do sistema radicular dos vegetais cultivados.

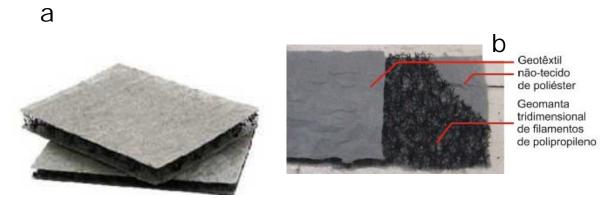


Figura 24. (a) Modelo de manta geotêxtil, (b) Imagem com detalhe das camadas do geocomposto, geomanta e filamentos que permitem o fluxo de água. Foto: Lima (2009).

A manta de drenagem foi instalada em todos os blocos, revestindo toda a superfície interna, mostrado na Figura 25.



Figura 25. Revestimento dos blocos com manta geotêxtil drenante MacDrain® 2L. Foto: Beatrice (2010).

6.2.3 Substrato

Foram determinadas três profundidades máximas de substrato para o cultivo experimental: 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m. As profundidades de solos usados como objeto de estudo, nesta pesquisa, basearam-se em trabalhos semelhantes para telhados extensivos desenvolvidos em regiões da América do Norte e Alemanha (DURHMAN et al., 2007; LAAR; GRIMME, 2006; LIU; MINOR, 2005) e condizem com as profundidades de substrato classificados para telhados verdes extensivos, mencionados no item 4.1.

Todos os blocos receberam o mesmo substrato de origem mineral de característica predominantemente arenosa (conforme recomendações de composição mencionadas no item 4.2.4 e em trabalho de Getter e Rowe, 2007), proveniente de uma área próxima às instalações do experimento, localizada entre a região sul de São Carlos e norte de Itirapina, com a finalidade de uniformizar o tipo de substrato, para posterior comparação do desempenho vegetal. O solo foi triado previamente para retirada de eventual material não desejado como madeira e pedras, sendo em seguida despejado em cada bloco de forma manual, sem compactação, até alcançar a profundidade desejada para cada plataforma.

Com o objetivo de conhecer e mensurar as propriedades físicas e a capacidade de disponibilidade de minerais para o consumo do vegetal, foi coletada uma amostra de solo no ato do plantio, e encaminhada ao laboratório, para análises de grandezas físicas e químicas (Tabela 4), tais como: análise granulométrica⁷ para a determinação da porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada, resultando em uma classificação para reconhecimento normatizado do tipo de solo; análise do pH, para a determinação do grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade do solo; quantificação de nutrientes, porosidade, densidade e curva de retenção de água, com a finalidade de reconhecer a capacidade de campo⁸ do solo utilizado.

A partir da análise de granulometria, de acordo com as normas ABNT/NBR 7181/82, ABNT/NBR 6502/95 e ABNT/NBR 6508/84, foi possível classificar o solo utilizado como predominantemente areia média a fina argilosa, com pouco silte, resultado confirmado pelas informações contidas no levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo para esta região (IAC, 1982).

O resultado da análise granulométrica do solo aplicado no experimento se aproximou das distribuições granulométricas de substratos preparados e utilizados em pesquisas com telhados verdes em outras regiões do mundo (GETTER et al., 2007; GETTER; ROWE, 2007).

A interpretação da análise química do solo utilizado neste estudo foi realizada com base na classificação de valores limites definidos pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), para o Estado de São Paulo, referenciados na Enciclopédia Agrícola Brasileira - EAB (1995), e que cuja análise mostrou o solo como de fertilidade mediana; com acidez (pH) moderada (5,1 em pH_(CaCl2)); com valores de bases trocáveis como o fósforo (7 mg/dm³), potássio (1,2

⁸ Capacidade campo: Corresponde à quantidade máxima de água que um solo pode reter em condições normais

de campo.

⁷ Granulometria: s.f. Estudo ou determinação das dimensões das partículas sedimentares.

mmolc/dm3) e cálcio (20 mmolc/dm³) considerados baixos, saturação de bases em nível moderado (56%), além de baixo índice de saturação de Alumínio (2%).

Tabela 4- Composição física e química do solo aplicado ao estudo.

| Componente | Unidades | Método |
|---|---------------------------|------------------|
| Pedregoso grosso (20 mm - 60mm) | 0% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Pedregoso médio (6 mm - 20mm) | 0% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Pedregoso fino (2 mm - 6mm) | 0,50% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Total de areia | 72,40% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Areia Grossa (0,60 mm - 2mm) | 4,10% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Areia Média (0,20 mm - 0,6mm) | 39,40% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Areia Fina (0,06 mm - 0,2 mm) | 28,90% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Silte (0,002 mm - 0,06 mm) | 5,30% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Argila (0 - 0,002 mm) | 21,80% | ABNT/NBR 7181/82 |
| Classificação textural do solo | | ABNT/NBR 7181/82 |
| Densidade 3% | $1,4 \text{ g/cm}^3$ | ABNT/NBR 6508/84 |
| Densidade 33% | 1,84 g/cm3 | ABNT/NBR 6508/84 |
| Porosidade | 47,06% | ABNT/NBR 6502/95 |
| Capacidade de retenção de água a 10 kPa | 9,30% | MARINHO, 1994 |
| pH_{CaCl2} | 5,1 | IAC |
| Matéria orgânica | 12 g/dm^3 | IAC |
| Fósforo | 7 mg/dm^3 | IAC |
| Potássio | 1,2 mmolc/dm ³ | IAC |
| Cálcio | 20 mmolc/dm ³ | IAC |
| Magnésio | 7 mmolc/dm ³ | IAC |
| Alumínio | 1 mmolc/dm ³ | IAC |
| Boro | 0.08 mg/dm^3 | IAC |
| Cobre | 1.2 mg/dm^3 | IAC |
| Ferro | 17 mg/dm^3 | IAC |
| Manganês | 2.8 mg/dm^3 | IAC |
| Zinco | $1,2 \text{ mg/dm}^3$ | IAC |
| CTC | 51 | IAC |
| S | 28 | IAC |
| M | 2% | IAC |
| V | 56% | IAC |

Análises realizadas no Laboratório de Solos, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

Para o conhecimento da quantidade de água disponível no solo foi feito o ensaio de curva de retenção de água, realizada em laboratório pelo método de papel filtro (MARINHO,

1994), em função dos recursos disponíveis no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos. Esse ensaio revelou uma capacidade de retenção máxima de água disponível no solo de 9,3%, a uma pressão de sucção de 10 kPa, valor de pressão estimado como mínimo quando em condições normais de cultivo; reduzindo a umidade do solo a 5% a uma pressão negativa de 1.500 kPa, estimada como tensão máxima para disponibilidade de água no solo (KERBAUY, 2004), como mostrado no Gráfico 1, sendo possível, bem antes de alcançar esse valor, o cultivo entrar em processo de estresse hídrico, causando injúrias ou até a murcha permanente. O fenômeno de murcha permanente que se explica como a passagem da fase limite admissível de recuperação da turgescência celular e que se manifesta quando o potencial matricial do solo sofre a ação das forças físicas capilares e de adsorção, devido à interação entre a água e as partículas sólidas, que atraem eletricamente e "fixam" a água no solo, diminuindo sua energia potencial com relação à água livre no meio (KERBAUY, 2004; REICHARDT, 1990).

Segundo Reichardt (1990), cada solo apresenta uma relação entre a umidade volumétrica (relação entre o volume de água presente em uma amostra e o volume da amostra) e o potencial matricial (efeito combinado entre forças capilares e de adsorção entre moléculas de água e partículas sólidas), características que são determinadas pela textura e estrutura do solo.

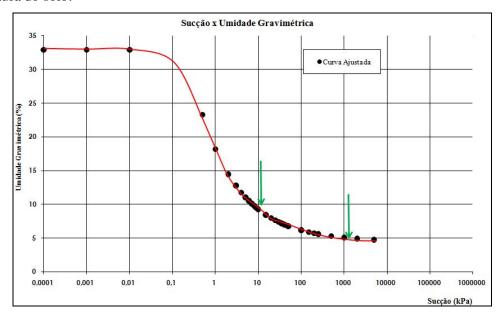


Gráfico 1. Avaliação da capacidade máxima de retenção de água em amostras do solo utilizado no experimento, por meio da metodologia de papel filtro. A região entre as setas indicam aproximadamente a menor e a maior pressão exercida pelas moléculas de água no solo e o máxima e o mínimo teor de umidade respectivamente.

6.2.4 Caracterização e seleção das espécies vegetais

Alguns critérios para a seleção de espécies vegetais foram propostos por Johnston e Newton (2004), para orientar a escolha mais apropriada ao uso em telhados verdes extensivos, sugerindo que estas plantas fossem preferencialmente nativas, adaptadas ao clima quente ou frio, de crescimento prostrado (rasteiro); que demandassem menor manutenção em termos de rega e poda, que apresentassem alto nível de resistência capaz de suportar estresses duradouros em condições climáticas e ambientais; que tivessem folhas com maior área e densidade; raízes curtas e de preferência fasciculadas que não danifiquem outros componentes, principalmente a estrutura de sustentação, além da adaptação ao desenvolvimento em solos de baixa fertilidade.

Com base nessas orientações empíricas, visando uma sugestão de espécies que fossem viáveis ao uso em telhados verdes, foram selecionadas três espécies: *Paspalum notatum* (grama-batatais), *Arachis repens* (grama-amendoim) e *Ophiopogon japonicus* (grama-preta), pelo fato de apresentarem a maior parte das características citadas pela literatura e que estão descritas a seguir:

1. A grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge), (Figura 26), pertencente à família *Poaceae* (*Gramineaceae*), é uma planta herbácea perene, de característica rizomatosa, ou seja, cresce por rizomas laterais subsuperficiais, é rasteira e nativa do Brasil. Pode alcançar altura de 0.15 a 0.30m, possui folhas lineares, alongadas e pilosas, resistente ao pisoteio, à seca, ao sol pleno e a solos de baixa fertilidade em condições normais de plantio a campo aberto (LORENZI; SOUZA, 2008; PEREIRA, 2006). Possui, exclusivamente na superfície de suas raízes e rizomas, associação com bactérias aeróbias do gênero *Azotobacter paspali sp.n.*, que fixam no solo nitrogênio atmosférico, que por sua vez é consumido continuamente beneficiando diretamente o desenvolvimento da planta (DÖBEREINER⁹ (1966 *apud* DÖBEREINER et al., 1972)).

-

⁹ DÖBEREINER, J. *Azotobacterpaspali* sp.n. uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** v. 1, p. 357-365. 1966.

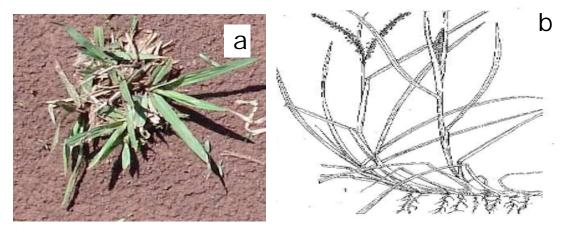


Figura 26. (a) Foto de *Paspalum notatum* em vista superior; (b) característica radicular rizomatoso de *Paspalum notatum* em vista lateral. Foto: Beatrice (2010) e esquema retirado de University of California em **www.ipm.ucdavis.edu**, acesso em 23/06/2010.

2. A grama-amendoim (*Arachis repens* Handro), (Figura 27), pertencente à família *Fabaceae*, é uma planta herbácea rasteira, estolonífera, perene e nativa do Brasil, notadamente de regiões de cerrado e costeiras do país (VALLS, 1992). Pode alcançar 0.10 a 0.20 m de altura, com ramagem prostrada de característica estolonífera, resistente ao sol e solos de moderada fertilidade, tolerante à acidez do solo (pH em torno de 5) e à alta saturação de alumínio (75%) (VALLS, 1992; RINCÓN et al., 1992).

De acordo com Conagin (1962), Lorenzi e Souza, (2008) e Pereira (2006), outra característica da espécie *Arachis repens* é a sobrevivência em solos bem drenados em condições normais de plantio em campo aberto, porém, de acordo com Rincón et al. (1992), tolera também condições de má drenagem e encharcamento temporário. Além destas adaptações, possui ainda benefício por meio de associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico do gênero *Bradyrhizobium*, que infectam as raízes e criam nódulos radiculares, os quais fornecem a maior parte do nitrogênio necessário ao desenvolvimento.

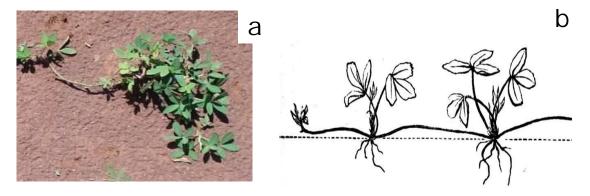


Figura 27. (a) Foto de *Arachis repens* em vista superior; (b) característica radicular estolonífera de *Arachis repens* em vista lateral. Foto: Beatrice (2010) e esquema retirado de University of California em **www.ipm.ucdavis.edu**, acesso em 23/06/2010.

3. A grama-preta (*Ophiopogon japonicus* (L.f.) Ker Gawl), (Figura 28), pertencente à Família *Ruscaceae* (*Liliaceae*), é uma herbácea rizomatosa, perene, originada da China e Japão, podendo alcançar 0.20 a 0.30 m de altura, possui folhas lineares, verde-escuras, recurvadas, suporta sol pleno e sombra, além de solo de média fertilidade, obtendo melhor desempenho em solos férteis. No entanto, não suporta pisoteio, possui ainda fácil propagação multiplicando-se por touceiras em condições normais de plantio a campo aberto (LORENZI; SOUZA, 2008). Segundo Kluepf e Polomski (1999), essa espécie possui características de crescimento limitado que dispensa poda, além de serem facilmente estabelecidas, apresenta ainda boa aparência durante o todo o ano, embora as folhas possam tornar-se irregulares ao final do inverno, retomando a vigorosidade no início da primavera.

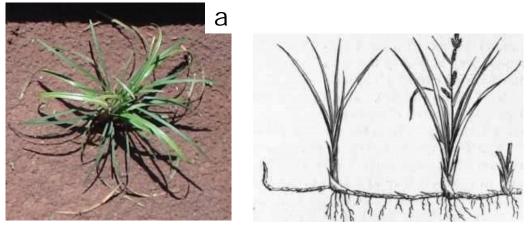


Figura 28. (a) Foto de *Ophiopogon japonicus*; (b) característica radicular rizomatosa de *Ophiopogon japonicus*. Foto: Beatrice (2010) e esquema retirado de University of California em **www.ipm.ucdavis.edu**, acesso em 23/06/2010.

6.2.5 Cultivo das plantas

O plantio de todas as unidades experimentais realizou-se na primeira quinzena de setembro de 2009, dia 03/09/09, período de transição entre a estação de inverno e primavera, o qual apresenta retomada crescente das precipitações para a região de aplicação do estudo, o que supriria naturalmente a requisição hídrica durante o período de estabelecimento inicial das unidades experimentais, proporcionando desta forma maiores chances de sobrevivência. No total, 135 unidades experimentais da espécie *Paspalum notatum*, contendo rizomas desenvolvidos e enraizados, foram retiradas de um gramado estabelecido próximo ao experimento, com ajuda de uma cápsula metálica rígida com diâmetro de 0.08 m e altura de 0.10 m, construído para esta finalidade (Figura 29), sendo posteriormente transplantadas 15 unidades aos respectivos blocos de cada tratamento.



Figura 29. Foto da cápsula metálica para retirada das unidades experimentais da espécie *Paspalum notatum* de uma cobertura estabelecida. Foto: Beatrice (2010).

As espécies *Arachis repens* e *Ophiopogon japonicus* foram adquiridas na cidade de São Carlos em viveiro como mudas adultas e transplantadas por meio de estolões desenvolvidos, também com 0.08 m de diâmetro, plantadas com espaçamentos de 0.10 m x 0.10 m para fim de uniformização da coleta de dados durante o trabalho, também com 15 unidades em cada tratamento (Figura 30).

O espaçamento de plantio para gramados em grandes áreas é geralmente utilizado, segundo Salvador e Minami (2001), na distância de 0.33 m x 0.33 m para melhor aproveitamento do custo benefício. O espaçamento de 0.10 m x 0.10 m, que foi adotado neste

trabalho, procurou atender os critérios de cobertura extensiva, a qual contém pouca área a ser coberta e, portanto, a maior densidade poderia favorecer a cobertura do solo mais rapidamente, minimizando efeitos de sua perda pela chuva ou vento e, simultaneamente, adiantando os processos de análise do desenvolvimento, assim como descrito por Wolfgang¹⁰ (2002 apud EMILSSON et al., 2005) e (DURHMAN, et al. 2007).



Figura 30. Abertura das covas com distanciamento de 0.10 m e em plantio das unidades experimentais. Fotos: Beatrice (2010).

Segundo Minke (2003), a escolha do método de plantio pode variar dependendo do estágio de desenvolvimento do vegetal que é adotado, podendo ser por sementes (4g a 8g/m²), estaquia foliar (40 brotos/m²), mudas adultas, placas, rolos e por vegetação armada (comunidade vegetal estabelecida de suculentas e gramíneas). Todavia, Emilsson e Rolf (2005) descrevem que para suculentas do gênero Sedum, o melhor desempenho foi alcançado com placas de vegetação adulta e em solo fértil pré-fabricado, no qual diminuíram o tempo de cobertura do solo e aumentaram a taxa de sobrevivência, em comparação ao método de plantio por plugs ou muda e por estaquia de brotos em solos menos férteis.

6.3 Irrigação

A irrigação não foi caracterizada como um tratamento na presente pesquisa e, sim, como suprimento necessário para o desenvolvimento inicial e sobrevivência das plantas. A

¹⁰ WOLFGANG, E. Mängel bei Begrünungen. In: Dachabdichtung - Dachbegrünung. Teil 1, Fehler: Ursachen, Auswirkungen und Vermeidung. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. 186p. 2002.

irrigação foi realizada manualmente, até atingir a capacidade de campo do solo no dia do plantio e estendida por duas vezes na semana, durante três semanas seguintes, até ser observada a fase de estabelecimento dos vegetais, tendo, a partir do ponto de estabelecimento, a suspensão das regas manuais, a fim de obter maior caracterização como cobertura extensiva.

6.4 Temperatura dos solos

Para o acompanhamento dos valores de temperatura dos solos foram utilizados, 27 sensores termoelétricos (termopares) do tipo T, composto por um fio de cobre e outro de constantin com uma junta eletrosoldada (Figura 31), revestidos por um capeamento isolante, podendo registrar valores de temperaturas na faixa de - 46°C a 78°C, com erro aproximado de ± 1°C.

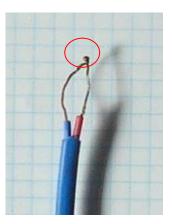


Figura 31. Termopar tipo T (cobre e constantin), com destaque para a junção de medição. Foto: Beatrice (2010).

Os termopares foram instalados no período de construção das plataformas, em contato com as profundidades máximas dos substratos das três espécies vegetais, distantes igualmente das laterais da plataforma (Figura 32).



Figura 32. Posicionamento dos termopares na profundidade máxima no centro de cada plataforma. Foto: Beatrice (2010).

A outra extremidade foi conectada a um multiplexador AM416 de 32 canais, que é um distribuidor de canais independentes que aumentam a quantidade de sensores que podem ser utilizados (Figura 33), interligado a um *datalogger*, modelo CR10X, que é um sistema de obtenção e armazenamento de dados convertidos por meio de uma rotina de programação estabelecida, protegida por uma caixa ambientalmente selada do meio exterior e alimentado por uma bateria solar de 12 *Volts*. Por meio do suporte do software de interface *Short Cut*, foram incorporadas ao sistema o registro de medições dos valores de temperatura subsuperficial em graus Celsius, a cada 30 segundos, com totalização a cada 30 minutos. Esse espaçamento temporal foi adotado em função da capacidade do aparelho processar e armazenar grande quantidade de informação.

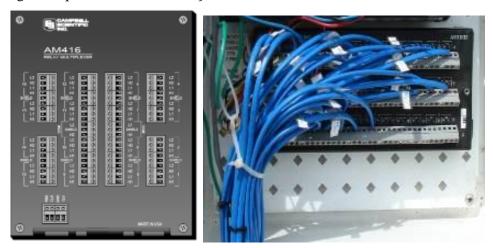


Figura 33. Imagem do Multiplexador AM416 à direita e foto dos polos dos termopares conectados ao multiplexador AM416. Fotos: Beatrice (2010).

Esses valores foram correlacionados à hipótese de diferença na eficiência de atenuação térmica de cada espécie durante as fases de desenvolvimento, frente a períodos de calor intenso. O registro de dados a cada 30 segundos, com totalização das médias a cada 30 minutos, adotado neste trabalho somou a quantidade de 120 medições por hora e 2880 medições diárias. Esse equipamento com essa configuração de obtenção de dados admitiu melhor resolução do que trabalhos semelhantes de registros de variações de valores de temperatura subsuperficial do solo estruturados e estudados em campo, realizados por Sandanielo (1983) e Vianello¹¹ et al. (1977 apud SANDANIELO, 1983) com total de 24 e 4 medições diárias, respectivamente.

6.5 Definição da metodologia de análise

6.5.1 Coleta de dados

6.5.1.1 Cobertura vegetal do solo

A quantificação dos valores de percentual de cobertura vegetal do solo é uma das análises necessárias para o conhecimento e acompanhamento do progresso e desempenho do cultivo, sendo utilizada como meio de comparação entre tratamentos (DURHMAN, et al., 2007; EMILSSON et al., 2005; GODOY, 2005). A quantificação de cobertura vegetal do solo foi realizada pelo método não destrutivo, denominado análise computacional matricial por meio das imagens digitais (KARTCHER; RICHARDSON, 2003; RICHARDSON, et al, 2001).

De acordo com autores como Richardson et al. (2001), Olmstead et al. (2004) e Godoy et al. (2007), a quantificação de cobertura vegetal pelo método de análise por imagem digital oferece resultados mais rápidos e acurados do que outros métodos comumente usados como: interceptação por ponto, integrador óptico de área foliar e estimativa por percepção visual.

Foram registradas imagens digitais com uma câmera fotográfica de marca *SONY*, modelo *Cyber-shot WS-50*, de resolução de 6.0 megapixels (2816 x 2112), com uma distância focal de 6.3 mm e velocidade do obturador de 1/8 s, acionada a uma altura de 1.30 m paralela

¹¹ VIANELLO, R. L.; RAO, T.V.L.; NOGUEIRA, J.M. Comportamento térmico do solo de viçosa-MG - Ciclo anual. 1977. São José dos Campos, INPE. 26p. (Relatório –INPE-1107-PE/081).

à base da plataforma, sustentada por um equipamento metálico e regulável, proporcionando um campo de cobertura de registro de imagem de área de 0.77 m², referente ao tamanho de cada bloco (Figura 34). As fotografias foram registradas em dias de poucas nuvens e no período matutino, a fim de obter melhor resultado na captura do espectro luminoso pelo sensor da máquina fotográfica, sendo armazenadas em formato digital JPEG (*joint photographic experts group*, jpg.) e posteriormente descarregadas em um microcomputador.

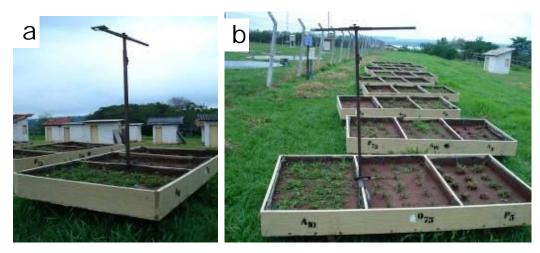


Figura 34. Imagem do suporte móvel construído para o registro de imagens da plataforma, a 1.30 m de altura. Foto: Beatrice (2010).

As imagens digitais foram descarregadas no *software* SigmaScan Pro Versão 5.0 (SPSS, 1998), utilizado para o cálculo de estimativa de cobertura vegetal no solo em cada bloco. Essa ferramenta foi apoiada por uma extensão do *software* chamado "Turf_Analysis.bas", desenvolvido pelo Dr. Doug Karcher (*University of Arkansas*) (KARCHER; RICHARDSON, 2005), que converteu as informações referentes às quantidades de resposta ao espectro vermelho, verde e azul (RGB) contidas na imagem digital, para valores HSB (matiz, saturação e brilho). Posteriormente para leitura das imagens, foi calibrado e regularizado os valores de matiz e saturação para índices de 47 a 107 e 0 a 100 respectivamente, permitindo a identificação e contagem de pixels de cor verde da imagem automaticamente, informando a porcentagem de cobertura (KARCHER; RICHARDSON, 2003; RICHARDSON et al., 2001), como mostrado, a seguir, na Figura 35. Segundo Landschoot e Mancino (2000) e Thorogood et al. (1993), a variação da matiz é considerada como o melhor indicador visual para trabalhos de imagem envolvendo gramados.

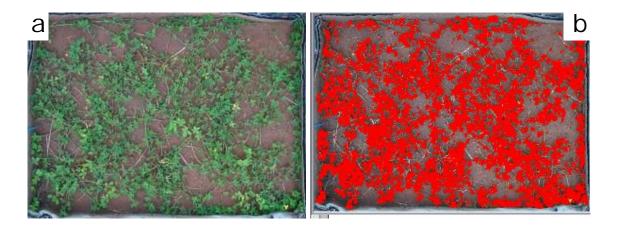


Figura 35. (a) Imagem de entrada referente à superfície vegetada, (b) imagem de saída da análise computacional pelo método não destrutivo referente à superfície vegetada, revelando 42 % de cobertura do solo. Fotos: Beatrice (2010).

Por meio do registro da imagem digital, as pesquisas podem obter instantaneamente milhões de bits de informação sobre uma superfície gramada, onde cada *pixel* contém informações independentes sobre a cor do alvo em experimentos de campo (KARTCHER; RICHARDSON, 2003). O uso de RGB para identificação de cores reais não apresenta confiabilidade, pois há uma fusão de intensidades de duas cores para formar uma terceira, confundindo a interpretação. Para facilitar a interpretação de dados de cores digitais, é necessária a conversão de valores RGB, para HSB (matiz, saturação e brilho), que são os valores de cores puras, que são os que mais se aproximam da percepção humana de cor (Figura 36), Adobe Systems¹² (2002 *apud* KARTCHER; RICHARDSON, 2003).

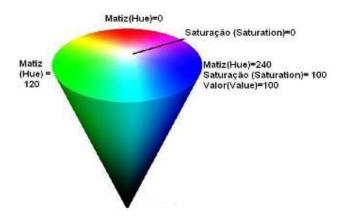


Figura 36. Cone de cores puras em matiz, saturação e brilho no espaço HSB. Fonte: Cardani (2001).

 $^{^{12}}$ Adobe Systems. Adobe Photoshop v. 7.0. Adobe Systems, San Jose, CA. 2002.

6.5.1.2 Estabelecimento das plantas

O estabelecimento inicial, definido como o período após o plantio, consistiu na fase de aclimatação e enraizamento e que foi relacionado à observação por meio dos mesmos registros fotográficos de cobertura vegetal. A obtenção de valores positivos de crescimento horizontal da parte aérea da planta pós-plantio foram utilizados para afirmar o sucesso de aclimatação e enraizamento (MONTERUSSO et al, 2005).

6.5.1.3 Sobrevivência e persistência

A taxa de sobrevivência de cada espécie em cada tratamento de profundidade foi registrada ao final de cada mês, entre setembro de 2009 e setembro de 2010. Para definir os critérios de análise de sobrevivência foram adotadas referências visuais em uma classificação categórica, assim como em trabalho de Monterusso et al. (2005), em que as unidades experimentais foram consideradas vivas ao exibirem coloração foliar verde durante a observação visual e consideradas mortas na ausência de coloração verde.

A persistência foi definida como sendo o sucesso de sobrevivência das plantas, iniciado ao final de cada estação do ano, a fim de avaliar o desempenho aparente de cada espécie frente às peculiaridades climáticas em um ciclo anual.

6.5.1.4 Crescimento vertical

Os valores de crescimento vertical da parte aérea foram coletados ao final de cada mês, por meio de medidas manuais para todas as 45 unidades experimentais em cada bloco, com o auxílio de uma régua graduada em unidades de centímetro. Posteriormente, foram convertidos para um único valor para cada bloco, calculados por uma média aritmética simples (BONHAM, 1989).

6.5.1.5 Registro dos valores dos atributos climáticos

Dados climáticos também foram acompanhados e coletados diariamente, por meio de uma estação meteorológica da marca *Campbell Scientific Inc.*, (Figura 37), contendo sensores específicos para aquisição dos dados referentes aos atributos climáticos, acoplados a um *datalogger* modelo CR10X, (Figura 38), que é um sistema automatizado de aquisição de dados, alimentado por uma bateria de 12 *volts*, que, por sua vez, é alimentada por um painel de captação de energia solar, instalado ao lado do experimento, nas dependências da Universidade de São Paulo, no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. Foram tomados registros a cada 30 segundos, com totalização a cada 30 minutos, dos valores de umidade relativa do ar, temperatura máxima e temperatura mínima por meio de um termohigrômetro modelo HMP45C (Figura 39), radiação solar global por meio de um piranômetro modelo LI200X (Figura 40), volume de precipitação por meio de um pluviômetro (Figura 41), velocidade e direção do vento por meio de um anemômetro e anemoscópio (Figura 42).





Figura 38. Painel frontal de um *Datalogger* CR10X para registro e armazenamento dos atributos climáticos. Fonte: CR10X *Measurement and Control Module Operato's Manual.*

Figura 37. Estação climatológica automática localizada ao lado do experimento. Foto: Beatrice (2010).



Figura 40. Sensor piranômetro LI200X, com sensibilidade ao espectro de luz entre 400 a 1100 nm. Fonte: Instruction manual: LI200X Pyranometer.

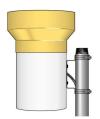


Figura 41. Pluviômetro. Fonte: Instruction manual: TE525WS Rain gages.



Figura 39. Sensor de temperatura e umidade relativa do ar à esquerda, e à direita o sensor instalado no abrigo. Fonte: Instruction manual: Model HMP45C Temperature and Relative Umidity.



Figura 42. Sensor contendo à esquerda o anemômetro e à direita o anemoscópio. Fonte: Instruction manual: 03001 R.M. Young Wind Sentry Set / 03101 R Young Wind Sentry Anemmeter / 03301

Os valores diários tomados de temperatura máxima, temperatura mínima, radiação solar, insolação, velocidade do vento a 2 metros de altura, umidade relativa do ar e pluviosidade, coletados pela estação meteorológica foram utilizados para análise posterior de escolha de dias para análise de temperatura dos solos. Tais registros da Estação Climatológica também foram utilizados para calcular a evapotranspiração estimada de referência diária, para a quantificação estimada da perda hídrica por um cultivo vegetal por meio do método combinado de Penman-Monteith (ETPM, em mm d⁻¹), (Equação 2), considerado padrão pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação FAO-56 (*Food and Agriculture Organization*), que considera como superfície de referência uma grama hipotética

com altura de 0.12 m, com resistência de superfície de 70 s.m⁻¹ e um albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998).

ETPM =
$$\frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)}U_2(es - ea)}{(\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2))}$$

Em que:

ETPM = evapotranspiração de referência (mm);

RN = saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m⁻²);

G = densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻²);

T = temperatura do ar a 2m de altura (°C);

 U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s = pressão de vapor de saturação (kPa);

e_a = pressão parcial de vapor;

 e_s - e_a = déficit de pressão de pressão de saturação (kPa);

 Δ = declividade de curva de pressão de vapor de saturação à temperatura T (kPa $^{\circ}$ C⁻¹); e

 γ = coeficiente psicométrico (kPa °C⁻¹).

Equação 2. Cálculo de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith. Fonte: FAO 56, (1993).

O método combinado de Penman-Monteith foi escolhido para o cálculo de evapotranspiração por considerar diversas variáveis ou atributos do clima como fatores dependentes, apresentando dados confiáveis a uma evapotranspiração de referência pontual e potencial, diferente de outros métodos como de Thornthwait, que considera apenas valores de temperatura como variável independente, usado para gerar dados em escala (PEREIRA et al., 1997). Os valores calculados de evapotranspiração estimada de referência diária foram apresentados adiante no Gráfico 8 do item 7.1.

6.5.1.6 Temperatura dos solos

Os valores médios de temperaturas do solo adquiridos a cada 30 minutos foram armazenados na memória do *datalogger* CR10X (como mencionado no item 6.4), semanalmente descarregados em computador, na forma de arquivos *dat*, separados por vírgula e posteriormente, transformados em arquivos *xls*. Separados então em planilhas diárias, os registros foram analisados em sua consistência, antes de serem lançados na planilha definitiva, separados por blocos (espécies) e tratamentos (profundidades de solo).

Para mensurar a influência no retardamento do aquecimento do solo por meio de valores de temperatura em cada tipo de tratamento, nas diferentes fases do desenvolvimento vegetal como proposto nos objetivos (item 3), foram selecionados os registros climatológicos de temperatura do ar e radiação solar global para os dias compreendidos na fase anterior ao plantio em que o solo estava nu (26/08/09 a 2/09/09), dias entre a fase de cultivo recém estabelecido (3/10/09 a 31/12/09) e dias da fase de pleno desenvolvimento (1/01/10 a 30/09/10).

Os critérios tomados para a determinação do dia de análise de referência experimental neste trabalho foram: dias de céu limpo com reduzida presença de nuvens, verificados pela presença de uma curva quase parabólica dos valores de radiação solar global, dias com temperatura do ar acima da média do período analisado, além da ausência da ocorrência de chuvas maior do que 1 mm por até três dias anteriores ao registro ou maior que 30 mm por até 6 dias antes, em função do elevado teor de umidade influenciar nos valores de temperatura. Foram selecionados os registros climáticos adquiridos da estação climatológica para o período de dias da fase de solo sem cultivo (Gráficos 2 e 3 e Quadro 1), fase de vegetal recém estabelecido (Gráficos 4 e 5 e Quadro 2), fase de pleno desenvolvimento do vegetal (Gráficos 6 e 7 e Quadro 3), sendo que a partir destes registros foi determinado o dia de referência para análise segundo os critérios mencionados acima. As Figuras 43, 44 e 45 indicam a ausência de nebulosidade sobre a região onde foi aplicado o estudo por meio de imagem de satélite GÓES (INPE, 2010).

| | | | | | | 24 | u// | n | | | | | | _ | | ۲ | ל | S) | , |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pluviosidade (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pluv | 16/08/2009 | 17/08/2009 | 18/08/2009 | 19/08/2009 | 20/08/2009 | 21/08/2009 | 22/08/2009 | 23/08/2009 | 24/08/2009 | 25/08/2009 | 26/08/2009 | 27/08/2009 | 28/08/2009 | 29/08/2009 | 30/08/2009 | 31/08/2009 | 01/09/2009 | 02/09/2009 | 03/09/2009 |

Quadro 1. Registro pluviométrico de 16/08/09 a 03/09/09.

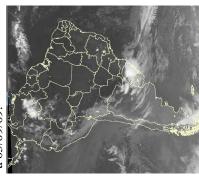
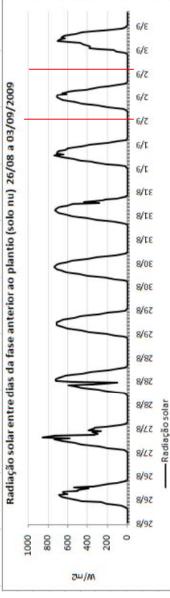


Figura 43. Dia 2/9/09. O valor de temperatura máxima para o local de estudo foi de 32°C. As áreas brancas representam nuvens e as escuras céu limpo.



ráfico 2. Indica a série dos registros de radiação solar entre dias da fase anterior ao plantio olo nu).

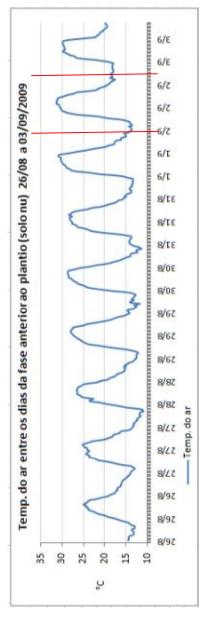
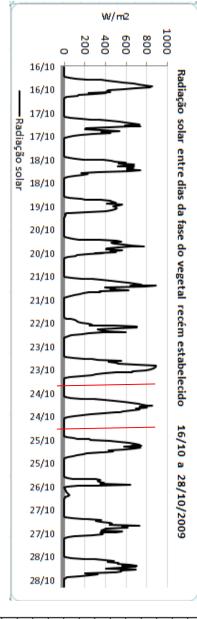


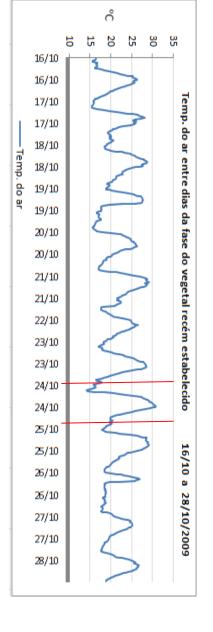
Gráfico 3. Indica a série dos registros de temperatura do ar entre dias da fase anterior ao plantio (solo nu), evidenciando o dia 02/09/2009 como o de temperatura mais elevada.



vegetal. Gráfico 4. Indica a série dos registros de radiação solar entre dias da fase recém estabelecido do

| | 28/ | 27/ | 26/ | 25/ | 24/ | 23/ | 22/ | 21/ | 20/ | 19/ | 18/ | 17/ | 16/ | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|-------------------|
| • | 28/10/09 | 27/10/09 | 26/10/09 | 25/10/09 | 24/10/09 | 23/10/09 | 22/10/09 | 21/10/09 | 20/10/09 | 9/10/09 | 8/10/09 | 17/10/09 | .6/10/09 | |
| | 0 | 0 | 46,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,6 | 2,1 | 0 | 0 | Pluviosidade (mm) |

Quadro 2. Registro Pluviométrico de 16/10/09 a 28/10/09.



estabelecido do vegetal, evidenciando o dia 24/10/2009 como o de temperatura mais elevada. Gráfico 5. Indica a série dos registros de temperatura do ar entre dias da fase recém

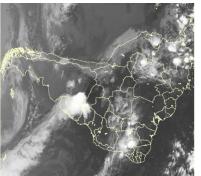


Figura 44. Dia 24/10/09. O valor de temperatura máxima para o local de estudo foi de 31°C. As áreas brancas representam nuvens e as escuras céu limpo.

| Pluviosidade (mm) | 0,2 | 11,8 | 4,5 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22,5 | 3,5 | 0 | 0 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 16/02/10 | 17/02/10 | 18/02/10 | 19/02/10 | 20/02/10 | 21/05/10 | 22/02/10 | 23/02/10 | 24/02/10 | 25/02/10 | 26/02/10 | 27/02/10 |

Quadro 3. Registro Pluviométrico de 16/02/10 a 27/02/10.

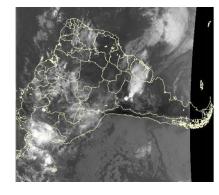


Figura 45. Dia 23/2/10. O valor de temperatura máxima para o local de estudo foi de 31.9 °C. As áreas brancas representam nuvens e as escuras céu limpo.

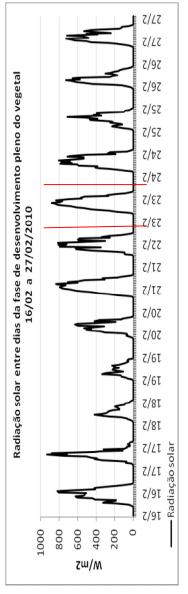
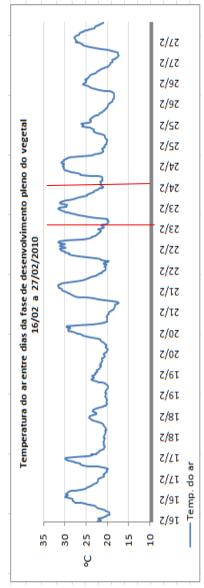


Gráfico 6. Indica a série dos registros de radiação solar entre dias da fase de desenvolvimento pleno do vegetal.



desenvolvimento pleno do vegetal, evidenciando o dia 23/02/2010 como o de temperatura mais Gráfico 7. Indica a série dos registros de temperatura do ar entre dias da fase de elevada.

Foram analisadas as séries de dados diários para cada fase do desenvolvimento assim definidos três dias que atenderam aos critérios estabelecidos para análise do comportamento térmico do solo: 02/09/2009 (anterior ao plantio, solo sem cobertura), 24/10/2009 (vegetal recém estabelecido) e 23/02/2010 (pleno desenvolvimento).

As Normais Climatológicas de 1961 a 1990, tomadas como referência em relação aos valores experimentalmente obtidos, conforme indicada no Quadro 4, também permite adotar os referidos dias como dia de referência, uma vez que a temperatura máxima do ar registrada no dia 02/09/2009 foi de 32°C, que foi maior que a temperatura média das máximas, apontada pelas Normais Climatológicas que é de 25°C para este mês, assim como ocorreu no dia 24/10/2009 que registrou temperatura máxima do ar em 31.3°C, sendo maior que a temperatura média das máximas informado pela Normais Climatológicas que é de 24.7°C e, também para o dia 23/02/2010 em que a temperatura máxima do ar registrada foi de 31.9°C, que foi maior que a temperatura média das máximas informado pelas Normais para este mês que é de 27.2°C.

Quadro 4 – Comparativo entre os valores experimentais e estatísticos dos meses de setembro, outubro e fevereiro em relação ao clima.

| | Normais Climatológicas de 1960-1990 | Valores registrados durante o dia de |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | (°C) | referência experimental (°C) |
| | Mês de setembro | Dia 2/09/2009 |
| Tmx (temp externa máxima) | 25 | 32 |
| Tm (temp externa mínima) | 14.2 | 16.3 |
| *t (Amplitude térmica) | 10.8 | 15.7 |
| | Normais Climatológicas de 1960-1990 | Valores registrados durante o dia de |
| | (°C) | referência experimental (°C) |
| | Mês de outubro | Dia 24/10/2009 ` ´ |
| Tmx (temp externa máxima) | 24.7 | 31.3 |
| Tm (temp externa mínima) | 14.7 | 14.5 |
| *t (Amplitude térmica) | 10 | 16.5 |
| | Normais Climatológicas de 1960-1990 | Valores registrados durante o dia de |
| | (°C) | referência experimental (°C) |
| | Mês de fevereiro | Dia 23/02/2010 |
| Tmx (temp externa máxima) | 27.2 | 31.9 |
| Tm (temp externa mínima) | 17.7 | 19.3 |
| *t (Amplitude térmica) | 9.5 | 12.6 |

6.6 Análise estatística

Para analisar os resultados independentes de cobertura do solo, sobrevivência e crescimento vertical, os valores de medições obtidos em cada um destes parâmetros por meio dos registros de coletas mensais (descritas no item 6.5.1) entre as repetições 1, 2 e 3, para cada bloco (espécie de planta) e entre os mesmos tratamentos separados em (0.05 m, 0.075 m e 0.10 m), foram primeiramente submetidos a uma equação estatística de média aritmética simples para a obtenção de um valor único mensal, para cada espécie em cada tratamento, expressos nos Gráficos 9, 10 e 11 do item 7.3 para a cobertura do solo, nos gráficos 12, 13 e 14 do item 7.4 para a sobrevivência e nos gráficos 15,16 e 17 do item 7.5 para o crescimento vertical.

Para determinar as diferenças significativas do desempenho de cobertura do solo, sobrevivência e crescimento vertical os mesmos valores de registro de coleta mensal foram submetidos à comparação das diferentes espécies nos mesmos tratamentos (profundidade do solo), por meio da análise de variância de um critério por meio do $teste\ F$, com a comparação das médias entre espécies, por meio da aplicação do $Teste\ de\ Tukey$ com diferença significativa ≤ 0.01 .

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização do balanço hídrico para a área de estudo.

O ano de 2009 foi considerado atípico com anomalias climato-hidrológicas, provocadas por perturbações atmosféricas que potencializaram a disponibilidade hídrica em precipitação para as regiões sul e sudeste do Brasil, influenciados por diversos fatores físicos interrelacionados (AB'SABER, 2009; CARVALHO, 2009; CLIMATEMPO, 2009).

De acordo com os dados de evapotranspiração de referência (definidos no item 6.5.1.5), foi possível construir um gráfico que indica os valores de evapotranspiração e precipitação obtidos durante o período da pesquisa e os registros de precipitação referentes às Normais Climatológicas (1961-1990) (Gráfico 8). Para o período compreendido entre outubro de 2009

e janeiro de 2010, os valores de precipitação foram cerca de 60 mm maior quando comparados com valores de precipitação das Normais Climatológicas.

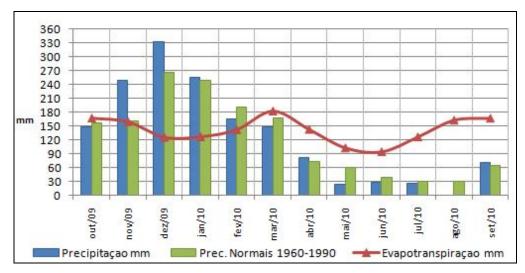


Gráfico 8. Caracterização hidrológica entre o período de realização do experimento de outubro de 2009 e setembro de 2010, em comparação com as precipitações das Normais Climatológicas de 1960-1990.

O valor dos registros de precipitação compreendidos entre os meses de fevereiro e março de 2010, na região onde se situa o experimento, foi cerca de 18 a 26 mm menor em relação aos valores das Normais Climatológicas para o mesmo período e, de 37 mm menor em maio de 2010 e 11 mm menor em junho de 2010. Para o mês de agosto de 2010, não houve ocorrência de evento de precipitação no local do experimento, sendo que as normais climatológicas indicam a média de ocorrência de 31 mm de precipitação.

O excedente hídrico ocorrido em novembro de 2010 (88 mm) e em dezembro de 2010 (64mm) não provocou consequências negativas perceptíveis nas unidades experimentais. No entanto, mesmo sendo meses de alta pluviosidade, o maior espaçamento de ocorrência deste fenômeno para esta região durante os meses citados acima, certamente, influenciaram o desempenho de todas as espécies cultivadas, retardando o crescimento e provocando desidratação e murchamento.

7.2 Estabelecimento inicial das plantas

Imediatamente após o plantio todos os blocos (contendo as espécies vegetais) receberam rega manual duas vezes por semana durante trinta dias, sendo observado, ao final desse período, o estado de aparência das plantas, por meio de uma análise visual, que constatou o aspecto de crescimento horizontal, vertical e vigor de todas as unidades experimentais, suspendendo a partir deste momento as regas manuais.

Logo após a suspensão da rega manual trinta dias após o plantio, foi observada claramente a mudança do aspecto de aparência e vigorosidade das unidades experimentais de todos os blocos. Foi notória a influência da profundidade do substrato na aparência das plantas, em que em profundidades de solo menores (0.05 m) se debilitaram mais rapidamente do que em profundidades maiores (0.075 m e 0.10 m). Resultados semelhantes foram observados por Emilsson e Rolf (2005).

7.3 Cobertura do solo

7.3.1 Arachis repens

A espécie *Arachis repens*, como se observa no Gráfico 9, apresentou a melhor resposta de cobertura em profundidade de 0.10 m, alcançando 50% do total da área ao final da primavera (98 dias após plantio), compreendidos entre a segunda quinzena de setembro de 2009 e a primeira quinzena de dezembro de 2009, comparados a 16% e 12% em profundidades de 0.075 m e 0.05 m, respectivamente, para o mesmo período.

O aumento de crescimento horizontal observado em profundidade de 0.10 m durante novembro e dezembro de 2009 foi favorecido pela maior disponibilidade hídrica dos eventos de pluviosidade durante este período e também pela maior capacidade de armazenamento de água no solo em relação aos outros tratamentos (0.05 m e 0.075 m).

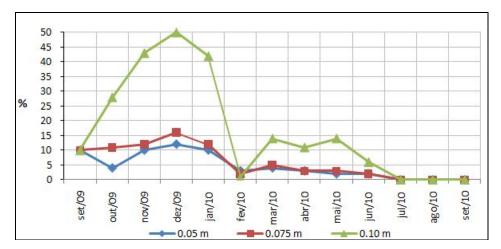


Gráfico 9. Cobertura do solo pela espécie *Arachis repens* em profundidades de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m.

Durante o verão (196 dias após plantio), compreendido entre a segunda quinzena de dezembro e a primeira quinzena de março, as unidades experimentais da espécie *Arachis repens* se desidrataram, eliminando todas as folhas em todos os tratamentos, o que gerou a queda repentina da cobertura do solo, embora mantendo os estolões ativos (sistema radicular), os quais tornaram a brotar apenas no tratamento de 0.10 m.

Em um período de poucos dias entre 4 e 12 de fevereiro de 2010, foram registrados elevados valores de radiação solar e a elevadas temperaturas do ar, o que gerou condições para que as plantas da espécies *Arachis repens* entrassem em declínio em todos os tratamentos.

Durante o outono (289 dias após plantio), compreendido entre a segunda quinzena de março de 2010 e a primeira quinzena de junho de 2010, houve um considerável crescimento horizontal das unidades experimentais cultivadas em solo de 0.10 m, em torno de 13 a 15%. Esse significativo crescimento foi observado pela brotação de novas folhas e ramos entre os nós radiculares.

Durante o início do inverno de 2010, a espécie *Arachis repens* entrou em declínio em função da desidratação e foi considerada morta em todos os tratamentos, não se recuperando até o final do ciclo do experimento, considerado como a primavera de 2010.

As imagens registradas para a espécie *Arachis repens*, referentes à estação de primavera, verão, outono e inverno, podem ser observadas na Figura 46.

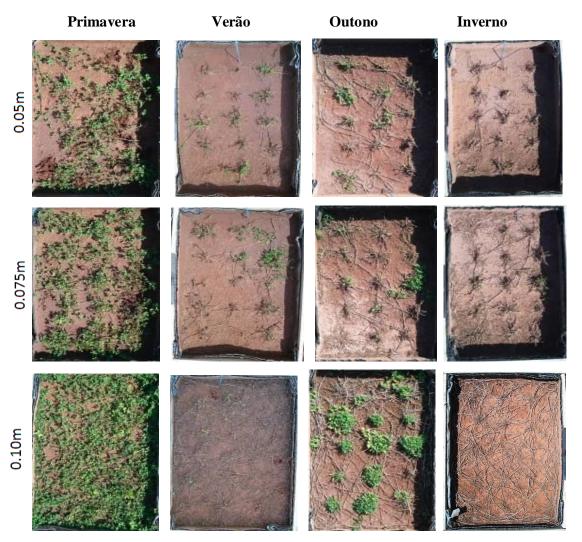


Figura 46. Aspecto real de cobertura da espécie *Arachis repens* nos tratamentos, ao final da estação de primavera, verão, outono e inverno.

7.3.2 Ophiopogon japonicus

A espécie Ophiopogon japonicus, como se observa no Gráfico 10, apresentou melhores valores de cobertura em profundidade de 0.075 m e 0.10 m, alcançando 9% do total da área ao final da primavera, período que se estendeu entre a segunda quinzena de setembro de 2009 e a primeira quinzena de dezembro de 2009, comparados a valores de 4% em profundidades de 0.05 m, para o mesmo período.

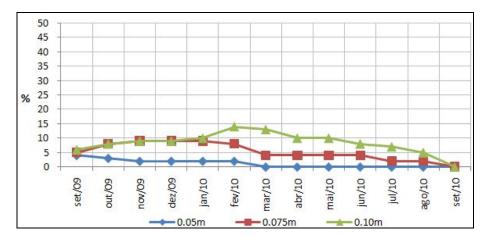


Gráfico 10. Cobertura do solo pela espécie *Ophiopogon japonicus* em profundidades de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m.

Durante o verão, com dados coletados na primeira quinzena de março (196 dias após o plantio), as unidades experimentais da espécie O*phiopogon japonicus* para as profundidades de 0.05 m foram consideradas mortas. As unidades cultivadas em 0.075 m e 0.10 m tinham um aspecto de coloração muito bom, porém as unidades cultivadas em solo de 0.075 m revelaram uma pequena diminuição nos valores de cobertura, reduzindo a 5%, embora as unidades cultivadas em solo de profundidade de 0.10 m tenham revelado um significativo aumento nos valores de cobertura do solo, alcançando 14% ao final do verão.

O aumento de cobertura horizontal para a espécie Ophiopogon japonicus em profundidades de 0.10 m, entre os meses de janeiro e março de 2010, revelaram que a maior profundidade do solo foi um fator importante para o desenvolvimento da planta mesmo sob estresse hídrico de curto período.

Durante o outono, com dados coletados na primeira quinzena de junho de 2010 (289 dias após plantio), as unidades experimentais cultivadas em solo de 0.05 m não se recuperaram, sendo consideradas mortas. Para as profundidades de 0.075 m e 0.10 m, houve uma ligeira diminuição de cobertura para as unidades experimentais, que se mantiveram a um valor de 4% e 10% respectivamente.

Durante o inverno, período que se estendeu entre a segunda quinzena de junho e a primeira quinzena de setembro, as unidades experimentais cultivadas no tratamento de 0.05 m não se recuperaram, seguidas posteriormente pelo declínio das unidades experimentais nos tratamentos de 0.075 e 0.10 m até o final do inverno, em função do mês de agosto não ter havido registro de chuvas. Porém, as unidades cultivadas em solos de 0.10 m foram as que mais resistiram ao clima seco, embora não tenham suportado por muitas semanas, o que levou esse cultivo ao fim durante o mês de setembro de 2010.

As imagens registradas para a espécie *Ophiopogon japonicus*, referentes ao final da estação de primavera, verão, outono e inverno, podem ser observadas na Figura 47.

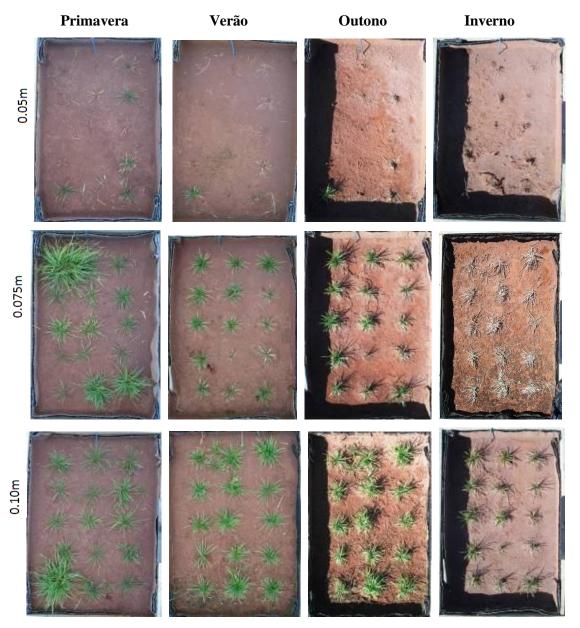


Figura 47. Aspecto real de cobertura da espécie *Ophiopogon japonicus* nos tratamentos, ao final da estação de primavera, verão, outono e inverno.

7.3.3 Paspalum notatum

A espécie *Paspalum notatum*, como se observa no Gráfico 11, apresentou valores crescentes de cobertura do solo para todos os tratamentos, partindo de 4% revelado na data de plantio, alcançando em novembro de 2009 valores de 14% em solo de profundidade de 0.05 m, 19% em solos de profundidade de 0.075m e 23% em solos de profundidade de 0.10 m.

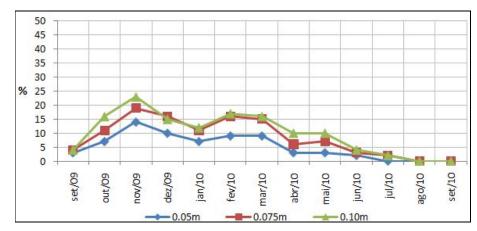


Gráfico 11. Cobertura do solo pela espécie *Paspalum notatum* em profundidades de 0.05m, 0.075 m e 0.10 m.

No mês seguinte, referente à primavera (98 dias após plantio), período compreendido entre a segunda quinzena de setembro de 2009 e a primeira de dezembro de 2009, houve uma queda acentuada na cobertura horizontal para 10% em solos de profundidade de 0.05 m, 15% em solos de profundidade de 0.075 m e 15% nos de profundidade de 0.10 m. Porém, essa queda de crescimento pode ser explicada em função da formação de palhada e ao enrolamento foliar, diante as condições de perda contínua de umidade, o que levou a uma variação no registro, pois a técnica de mensuração de cobertura detecta os pontos da imagem com coloração verde, o que pode ter causado essa variação.

Durante o verão, com dados coletados na primeira quinzena de março (196 dias após o plantio), as unidades experimentais da espécie *Paspalum notatum*, cultivadas em solos de profundidades de 0.05m, 0.075m e 0.10m, mantiveram estáveis seus valores de cobertura em torno de 10%, 15% e 15% respectivamente.

Durante o outono, compreendido entre a segunda de março de 2010 e a primeira de junho de 2010, com dados coletados na primeira quinzena de junho de 2010 (289 dias após plantio) as unidades experimentais cultivadas em solo de 0.05m apresentaram aspecto ruim,

com eliminação de quase todas as folhas e aparente debilitação das unidades experimentais vivas, revelando cobertura em torno de 3%. Para as profundidades de 0.075 m e 0.10 m, também houve uma ligeira diminuição de cobertura, as quais se mantiveram em cerca de 7% e 10%, respectivamente. A eliminação de palha em função das folhas mortas, evidenciadas no cultivo desta espécie, não foi contabilizada como cobertura do solo por não apresentar coloração e atividade fisiológica, embora contribuam para o sombreamento e, aparentemente, para a retenção da umidade no solo.

Durante o inverno de 2010, precisamente no mês de agosto, todas as unidades experimentais morreram em todos os tratamentos, em função da escassez de disponibilidade hídrica pluvial e dos altos valores de radiação solar, que provocou a desidratação fisiológica da planta, levando-a a murcha permanente.

As imagens registradas para a espécie *Paspalum notatum*, referentes ao final da estação de primavera, verão, outono e inverno, podem ser observadas na Figura 48.

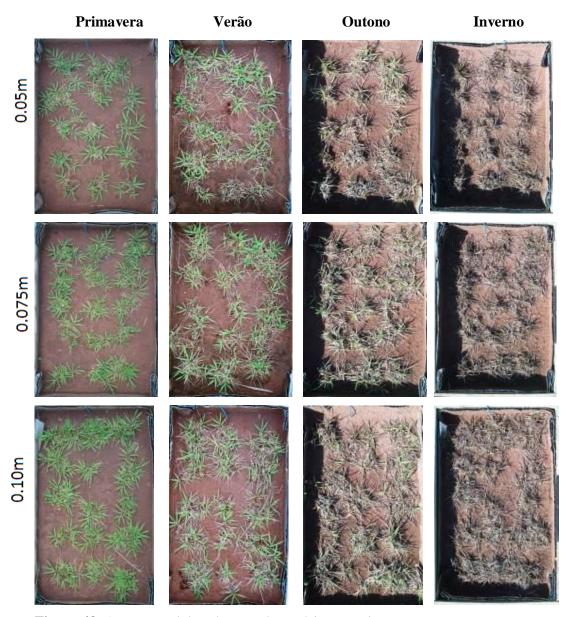


Figura 48. Aspecto real de cobertura da espécie *Paspalum notatum*, nos tratamentos, ao final da estação de primavera, verão, outono e inverno.

Segundo a organização "The Landscape Research, Development & Construction Society" FLL (1995), para que o sucesso de colonização de uma cobertura por espécies cultivadas seja considerado, esta terá que garantir no mínimo a ocupação de 60% da área cultivada, valor tido na Alemanha como mínimo para aproveitamento dos benefícios dos telhados verdes depois de um ano de cultivo.

Neste experimento as taxas de cobertura vegetal do solo não alcançaram o valor sugerido por FLL (1995), embora trate de outras espécies e clima.

Todavia, os valores definidos de cobertura vegetal do solo entre os mesmos tratamentos revelaram que houve diferença para as diferentes profundidades entre as espécies estudadas, após a comparação estatística por variância gerada pelo Teste F e comparação das médias entre as espécies cultivadas por meio do Teste de Tukey, em iguais tratamento e meses, adotando diferença significativa \leq a 0.01, conforme procedimento metodológico descrito no item 6.6, sendo tais diferenças expressas no Quadro 5.

Quadro 5. Cobertura vegetal do solo pelas espécies *Arachis repens* (grama amendoim), *Ophiopogon japonicus* (grama preta), *Paspalum notatum* (grama batatais), em solos de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m, durante o período de setembro de 2009 a setembro de 2010.

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | 0.05 m | 1 | | | | | |
| Arachis repens | 10a | 4a | 10a | 12a | 10a | 3a | 4a | 3a | 2a | 2a | 0a | 0a | 0a |
| Ophiopogon jap. | 5b | 3a | 2b | 2b | 2b | 2a | 0b | 0b | 0b | 0b | 0a | 0a | 0a |
| Paspalum not. | 3b | 7b | 14c | 10a | 7c | 9b | 9c | 3a | 3a | 2a | 0a | 0a | 0a |

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | 0.075 r | n | | | | | |
| Arachis repens | 10a | 11a | 10a | 16a | 12a | 2a | 5a | 3a | 3a | 2a | 0a | 0a | 0a |
| Ophiopogon jap. | 5b | 8b | 9b | 9b | 10b | 8b | 4a | 4ab | 4a | 4b | 2b | 2b | 0a |
| Paspalum not. | 4b | 11a | 19c | 15a | 11ab | 16c | 20b | 6b | 7b | 3ab | 2b | 0a | 0a |

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | 0.10 m | 1 | | | | | |
| Arachis repens | 10a | 28a | 43a | 50a | 42a | 1a | 14ab | 11a | 14a | ба | 0a | 0a | 0a |
| Ophiopogon jap. | 6b | 8b | 9b | 9b | 10b | 14b | 13a | 10a | 10b | 8a | 7b | 5b | 0a |
| Paspalum not. | 4b | 16c | 23c | 15c | 12b | 17c | 16b | 10a | 10b | 4b | 2c | 0a | 0a |

Os valores expressos no quadro indicam a porcentagem de cobertura vegetal do solo e as letras diferentes indicam que existe diferença significativa ($p\le0.01$) para os valores comparados entre as espécies no mesmo mês no mesmo tratamento de profundidade.

7.4 Sobrevivência

7.4.1 Arachis repens

Para a espécie *Arachis repens*, como se observa no Gráfico 12, houve uma diminuição da sobrevivência, ao longo da primavera, para dois dos três tratamentos.

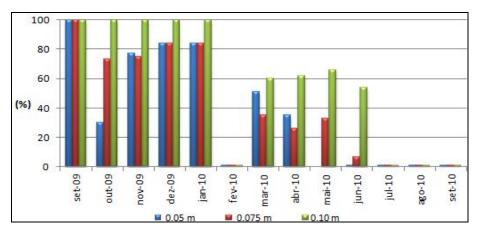


Gráfico 12. Sobrevivência pela espécie *Arachis repens* em profundidades de 0.05m, 0.075m e 0.10m.

Partindo de 100% de sobrevivência revelada na data de plantio para todos os tratamentos, esta espécie alcançou, em outubro de 2009, logo após a cessão das regas, valores de 30% em solo de profundidade de 0.05 m, retornando a brotar e aumentando esse valor para 85% até o final da primavera, em função de elevada disponibilidade hídrica, que, logo após, com a mudança do regime de chuvas tornou a diminuir a sobrevivência para 52%, nos meses de março (verão de 2010) e para 35%, em abril de 2010, período em que, em seguida, houve um declínio causando a morte de todas as unidades até o fim do experimento.

Em solos de profundidade de 0.075 m, a taxa de sobrevivência manteve-se satisfatória em cerca de 70% a 85%, durante todo o período de primavera. Durante o verão, no mês de fevereiro de 2010, nenhuma unidade experimental sobreviveu, perdendo todas as folhas, porém tornando a rebrotar, o que fez aumentar a taxa de sobrevivência para 35% de março até maio de 2010, diminuindo consideravelmente em junho, não se recuperando também até o final do experimento.

Já em solos de profundidade de 0.10 m, a espécie *Arachis repens* permaneceu com 100% das unidades experimentais cultivadas, apresentando aspecto muito bom até o final da primavera. No início do verão, não diferente dos outros tratamentos, todas as unidades experimentais perderam as folhas, deixando apenas os estolões, porém tornaram a rebrotar e em mais unidades experimentais do que em outros tratamentos, alcançando, 60% no mês de março, 62%; no mês de abril e 54% em junho de 2010. Porém, em função de desidratação causada no início do período de inverno, todas as unidades morreram, não alcançando a data do final do experimento.

7.4.2 Ophiopogon japonicus

Para a espécie *Ophiopogon japonicus*, como se observa no Gráfico 13, as unidades experimentais cultivadas em solos de profundidade de 0.10 m foram as que tiveram o melhor desempenho de sobrevivência mantendo a taxa de 100% de setembro de 2009 a julho de 2010, mantendo-se acima dos 60%. As unidades experimentais cultivadas em solos de 0.075 m de profundidade apresentaram taxa de sobrevivência positiva, entre 80 e 100% para os meses chuvosos compreendidos entre os meses de outubro a março, e de 50 a 60% para os meses secos compreendidos entre abril e agosto. No entanto, as unidades cultivadas em solos de 0.075 m não resistiram à desidratação e a elevados valores de radiação e morreram durante o mês de agosto, em função de não ter havido nenhum registro de precipitação. Em solos de 0.05 m, a sobrevivência decresceu na primavera. Em função da baixa profundidade, as unidades experimentais não se desenvolveram, chegando ao ponto de todas morrerem nesta profundidade de solo em fevereiro de 2010, não se recuperando mais até o final do experimento.

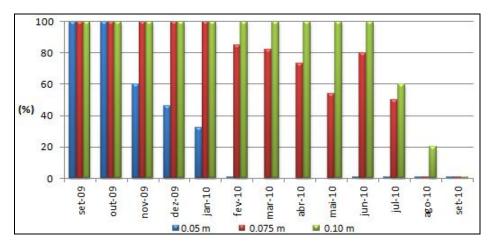


Gráfico 13. Sobrevivência pela espécie *Ophiopogon japonicus* em profundidades de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m.

7.4.3 Paspalum notatum

Para a espécie *Paspalum notatum*, como se observa no Gráfico 14 todas as unidades experimentais cultivadas em solos de profundidade de 0.10 m e 0.075 m tiveram excelente desempenho de sobrevivência, mantendo a taxa de 100% de setembro de 2009 a maio de 2010. No entanto, não suportaram a desidratação condicionada em junho pelos elevados valores de radiação e baixos registros de precipitação, morrendo em seguida. Em solos de 0.05 m, a sobrevivência decresceu a partir do verão em função da baixa profundidade de solo para o cultivo, onde as unidades experimentais não se desenvolveram bem, chegando ao ponto de 55% das unidades experimentais morrerem nessa profundidade até abril de 2010, decrescendo ainda mais até não mais suportar a desidratação em junho de 2010, não se recuperando mais até o final do experimento.

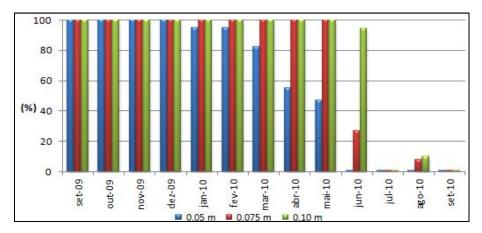


Gráfico 14. Sobrevivência pela espécie *Paspalum notatum* em profundidades de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m.

No entanto, os valores definidos de sobrevivência entre os mesmos tratamentos revelaram que houve diferença para as diferentes profundidades entre as espécies estudadas, após a comparação estatística por variância gerada pelo Teste F e comparação das médias entre as espécies cultivadas por meio do Teste de Tukey, em iguais tratamento e meses, adotando diferença significativa \leq a 0.01, conforme procedimento metodológico descrito no item 6.6, sendo tais diferenças expressas no Quadro 6.

Quadro 6. Sobrevivência das espécies *Arachis repens* (grama amendoim), *Ophiopogon japonicus* (grama preta), *Paspalum notatum* (grama batatais), em solos de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m, durante o período de setembro de 2009 a setembro de 2010.

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | 0.0 |)5 m | | | | | | |
| Arachis repens | 100a | 30a | 77a | 86a | 84a | 1a | 51a | 35a | 0a | 1a | 1a | 1a | 1a |
| Ophiopogon jap. | 100a | 100b | 60b | 46b | 32b | 1a | 0b | 0b | 0a | 1a | 1a | 1a | 1a |
| Paspalum not. | 100a | 100b | 100a | 100c | 95c | 95b | 82c | 55c | 47b | 1a | 1a | 1a | 1a |

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | 0.0 | 75 m | | | | | | |
| Arachis repens | 100a | 73a | 75a | 84a | 84a | 1a | 35a | 25a | 33a | 7a | 1a | 1a | 1a |
| Ophiopogon jap. | 100a | 100b | 100b | 100b | 100b | 85b | 82b | 73b | 54b | 80b | 50b | 1a | 1a |
| Paspalum not. | 100a | 100b | 100b | 100b | 100b | 100c | 100c | 100c | 100c | 27c | 1a | 8a | 1a |

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| | | | | | | 0.1 | 0 m | | | | | | |
| Arachis repens | 100a | 100a | 100a | 100a | 100a | 1a | 60a | 62a | 66a | 54a | 1a | 1a | 1a |
| Ophiopogon jap. | 100a | 100a | 100a | 100a | 100a | 100b | 100b | 100b | 100b | 100b | 60b | 20b | 1a |
| Paspalum not. | 100a | 100a | 100a | 100a | 100a | 100b | 100b | 100b | 100b | 94c | 1a | 10c | 1a |

Os valores expressos no quadro indicam a porcentagem de sobrevivência e as letras diferentes indicam que existe diferença significativa (p≤0.01) para os valores comparados entre as espécies no mesmo mês no mesmo tratamento de profundidade.

7.5 Crescimento vertical

Os valores de crescimento vertical máximo para os três tratamentos foram semelhantes, alcançando 0.09 m de altura em relação ao solo, embora tenham existido variações entre cada tratamento para a mesma espécie. Esse valor foi considerado como satisfatório em relação ao aspecto de manutenção.

7.5.1 Arachis repens

Para a espécie *Arachis repens*, como se observa no Gráfico 15, ao final da primavera (98 dias após plantio), compreendidos entre a segunda quinzena de setembro de 2009 e a primeira de dezembro de 2009, o crescimento das unidades experimentais cultivadas em solos de profundidade de 0.05 m apresentou diminuição repentina após um mês de plantio, medindo

0.02 m de altura. Para as unidades cultivadas em solos de 0.075 m e 0.10 m sob, as mesmas condições, os crescimentos verticais tiveram o mesmo comportamento, alcançando 0.045 m em dezembro de 2009.

Após outubro de 2009 até o final da primavera, a espécie *Arachis repens* tornou a crescer verticalmente, elevando de 0.02 m para 0.055 m a altura final, fato também observado em profundidades de 0.075 m.

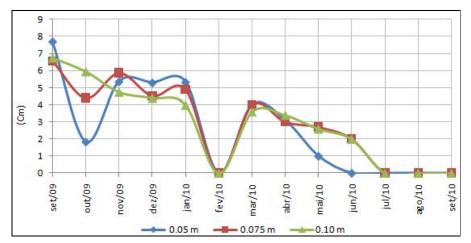


Gráfico 15. Crescimento vertical pela espécie *Arachis repens* em profundidades de 0.05m, 0.075 m e 0.10 m.

Durante o verão (196 dias após plantio), entre a segunda quinzena de dezembro e a primeira quinzena de março, o crescimento vertical das unidades experimentais dessa espécie, cultivadas em solos de 0.05 m de profundidade, chegou a ser zero, devido à perda da folhagem em função da diminuição das chuvas em fevereiro de 2010, porém tornou a rebrotar em algumas unidades experimentais, quando alcançaram 0.04 m de altura ao final de março, morrendo no início do outono. Em solos de 0.075 m e 0.10 m a altura máxima foi de 0.03 m, decrescendo estes valores a zero até o final do inverno.

7.5.2 Ophiopogon japonicus

Os valores de crescimento da espécie *Ophiopogon japonicus*, como se observa no Gráfico 16, mostraram que, durante a primavera, as unidades experimentais cultivadas em solos de profundidade de 0.05 m apresentaram diminuição contínua da altura até o final da primavera, alcançando 0.048 m, comportamento semelhante observado para as unidades

cultivadas em solos de 0.075 e 0.10 m sob as mesmas condições, porém com alturas maiores, alcançando uma média de 0.065 m para solos de 0.075 m e 0.075 m para solos de 0.10 m.

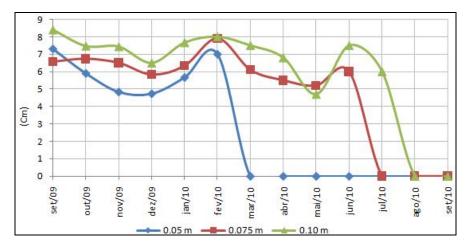


Gráfico 16. Crescimento vertical pela espécie *Ophiopogon japonicus* em profundidades de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m.

Durante o verão (196 dias após plantio), entre a segunda quinzena de dezembro e a primeira quinzena de março, o crescimento vertical das unidades experimentais cultivadas em solos de 0.05 m de profundidade tornou a aumentar até fevereiro de 2010 para 0.07 m, embora muitas unidades não tenham sobrevivido a essa profundidade e sob essas condições climáticas. Todavia, a observação do mês de março, nesta profundidade, apresentava todas as unidades sem atividade, sendo consideradas mortas. Para as unidades cultivadas em solos de 0.075 m e 0.10 m de profundidade, o crescimento vertical alcançou valor de 0.07 m para ambos.

Esses valores tenderam a diminuir durante o outono (289 dias após plantio), entre a segunda quinzena de março de 2010 e a primeira quinzena de junho de 2010, medindo 0.06 m de altura em média em profundidades de 0.075 m, e 0.075 m em solos de 0.10 m. Durante o inverno, as unidades experimentais resistiram com boa aparência entre os tratamentos de 0.075 m e de 0.10 m, embora não resistissem e morressem durante o mês de agosto.

7.5.3 Paspalum notatum

Já a espécie *Paspalum notatum* tendeu a aumentar o crescimento vertical durante a primavera e verão, como se observa no Gráfico 17, alcançando até 0.08 m para as unidades experimentais cultivados em solo de maior profundidade e alturas de 0.075 m, e 0.06 m para as unidades cultivadas em solos com profundidades de 0.075 m e 0.05 m respectivamente. Após o verão, com a chegada do outono, a tendência das plantas foi baixar a taxa de sobrevivência. Com isso, a queda nas taxas de crescimento vertical para a espécie *Paspalum notatum* foi bastante evidente, diminuindo sua altura média para 0.03 a 0.04 m, tornando a aumentar para 0.05 m nas profundidades de cultivo de 0.075 m e 0.10 m. O inverno também gerou um declínio entre as unidades experimentais, levando à morte logo no início da estação.

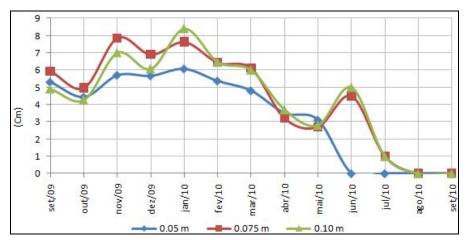


Gráfico 17. Crescimento vertical pela espécie *Paspalum notatum* em profundidades de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m.

As observações acima indicam que o plantio das espécies selecionadas neste trabalho, em solos de composição granulométrica descritas no item 6.2.3 e, em 0.05 m de profundidade não ofereceu resultados satisfatórios para a região em que foi aplicado o estudo. Os cultivos em solos de 0.10 m foram os que mais resultaram valores positivos de crescimento e sobrevivência. A primavera é indicada como o período mais favorável ao crescimento das espécies adotadas no trabalho, entre os tratamentos de 0.075 m e 0.10 m para as espécies *Ophiopogon japonicus* e *Paspalum notatum*. O inverno foi o período menos favorável ao desenvolvimento e sobrevivência de todas as espécies, em todos os tratamentos, devido à falta de disponibilidade hídrica natural.

Os valores definidos de crescimento vertical entre os mesmos tratamentos revelaram que houve diferença para as diferentes profundidades entre as espécies estudadas, confirmada após a comparação estatística por variância gerada pelo Teste F e comparação das médias entre as espécies cultivadas por meio do Teste de Tukey, em iguais tratamento e meses adotando diferença significativa \leq a 0.01, conforme procedimento metodológico descrito no item 6.6, sendo tais diferenças expressas no Quadro 7.

Quadro 7. Crescimento vertical das espécies *Arachis repens* (grama amendoim), *Ophiopogon japonicus* (grama preta), *Paspalum notatum* (grama batatais), em solos de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m, durante o período de setembro de 2009 a setembro de 2010.

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | 0.05 n | n | | | | | |
| Arachis repens | 8a | 2a | 5a | 5a | 5a | 0a | 4a | 3a | 1a | 0a | 0a | 0a | 0a |
| Ophiopogon jap. | 7ab | 6b | 5a | 5a | 6a | 7b | 0b | 0b | 0b | 0a | 0a | 0a | 0a |
| Paspalum not. | 5b | 4a | 6a | 6a | 6a | 5a | 5a | 4a | 3c | 0a | 0a | 0a | 0a |

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | (| 0.075 1 | m | | | | | |
| Arachis repens | 7a | 4a | 6a | 5a | 5a | 0a | 4a | 3a | 3a | 2a | 0a | 0a | 0a |
| Ophiopogon jap. | 7a | 7b | 7ab | 6ab | 6a | 8b | 6b | 6b | 5b | 6b | 0a | 0a | 0a |
| Paspalum not. | 6a | 5ab | 8b | 7b | 8b | 6c | 6b | 3a | 3a | 5b | 1b | 0a | 0a |

| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0.10 m | | | | | | | | | | | | |
| Arachis repens | 7ab | 6a | 5a | 4a | 4a | 0a | 4a | 3a | 3a | 2a | 0a | 0a | 0a |
| Ophiopogon jap. | 8a | 7a | 7b | 7b | 8b | 8b | 8b | 7b | 5b | 8 | 6b | 0a | 0a |
| Paspalum not. | 5b | 4b | 7b | 6c | 8b | 6c | 6c | 4a | 3a | 5c | 1c | 0a | 0a |

Os valores expressos no quadro indicam a porcentagem de crescimento vertical do solo e as letras diferentes indicam que existe diferença significativa ($p \le 0.01$) para os valores comparados entre as espécies no mesmo mês no mesmo tratamento de profundidade.

7.6 Comportamento das temperaturas dos solos

Os valores de radiação solar para os dias selecionados nesta pesquisa 02/09/2009, 24/10/2009 e 23/02/2010, conforme critérios estabelecidos no item 6.5.1.6, estão apresentados no Gráfico 18, a seguir.

Durante o período anterior ao plantio, dia 02/09/2009, quando os solos estavam sem cobertura vegetal, aqueles com profundidades de 0.05 m e 0.075 m apresentaram

comportamento térmico semelhante durante o ciclo diário de 24 horas, com valor máximo de temperatura em 45.5 °C (Gráfico 19).

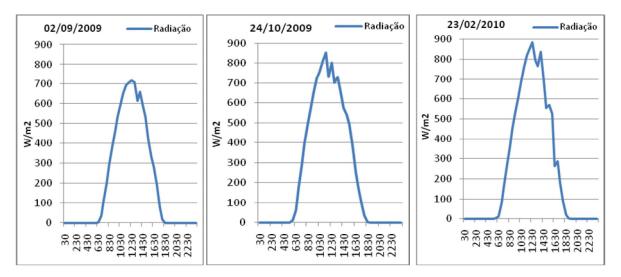


Gráfico 18. Radiação solar diária para 02/09/2009, dia 24/10/2009 e 23/02/2010.

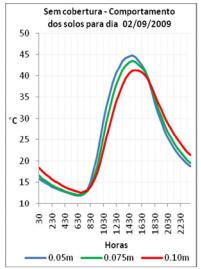


Gráfico 19. Temperatura dos solos sem cobertura vegetal para dia 02/09/2009.

Já o solo com profundidade de 0.10 m alcançou temperatura máxima de 41.8 °C e apresentando um atraso térmico em relação as profundidades menores para este dia de aproximadamente duas horas para este registro.

7.6.1 Arachis repens

A análise foi realizada em 24/10/2009 (Gráfico 20), quando a espécie *Arachis repens* estava sob cultivo nos três tratamentos com cobertura da superfície de 5% em solo de 0.05m, 11% em solo de 0.075m e 30% em solo de 0.10m, com temperaturas máximas alcançadas respectivas de 43.4 °C, 42.2 °C, e 39.3°C para solos de 0.05 m, 0.075 m e 0.10 m. Esses valores demonstraram leve influência da vegetação para solos de 0.05 m e 0.075 m.

No dia 23/02/2010 (Gráfico 21), em que a próxima série de registro foi tomada, a espécie *Arachis repens* já havia se debilitado dias anteriores, o que levou a perda de todas as folhas em todos os tratamentos, sendo este efeito demonstrado claramente no aumento dos valores de temperatura nos solos de profundidade 0.05 m e 0.075 m, alcançando temperaturas máximas respectivas de 46 °C e 45 °C, porém, a temperatura máxima registrada em solos de 0.10 m foi de 36 °C.

7.6.2 Ophiopogon japonicus

A espécie *Ophiopogon japonicus* apresentou, no dia 24/10/2009 (Gráfico 22), comportamento térmico dos solos com valores um pouco diferente daquele cultivado com a espécie *Arachis repens*, nas três profundidades, demonstrando uma

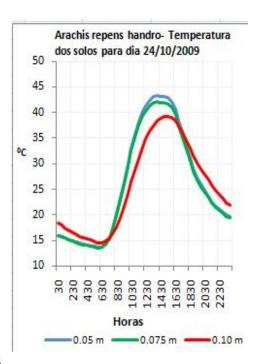


Gráfico 20. Temperatura dos solos cultivados com *Arachis repens* em 24/10/2009.

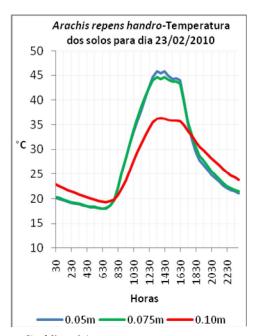


Gráfico 21. Temperatura dos solos cultivados com *Arachis repens* em 23/02/2010.

interferência mais clara da influência da área coberta por este vegetal para profundidade de

0.075 Porém. houve diferencas não significativas ou evidentes da interferência de qualquer cultivo com respectivas sombreamento do solo para profundidade de 0.10 m. O que se pôde perceber foi o atraso no aquecimento do solo de também duas horas entre as profundidades de 0.05 m e 0.10 m e a diferença de 3.8 °C entre esses tratamentos. Em 24/10/2009, os valores de temperaturas registrados foram de 43.8 °C, em solos de 0.05 m; 41 °C em solos de 0.075 m; e 40 °C em solos de 0.10 m com coberturas do solo de 3% para as plantas cultivadas em solos de 0.05m, 8% para as plantas cultivadas em solos de 0.075 m e 8% para as plantas cultivadas em solos de 0.10 m.

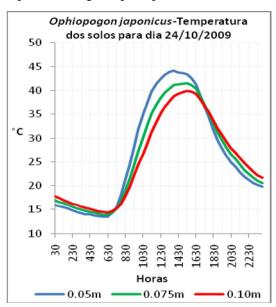


Gráfico 22. Temperatura dos solos cultivados com *Ophiopogon japonicus*, em 24/10/2009.

Para a análise do dia 23/02/2010 (Gráfico 23), as plantas da espécie *Ophiopogon japonicus* não haviam sobrevivido em solos de 0.05 m, o que foi indicado no Gráfico 23 por um evidente aumento nos valores de temperatura para essa profundidade, alcançando 47 °C

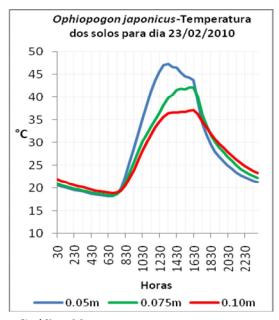


Gráfico 23. Temperatura dos solos cultivados com *Ophiopogon japonicus*, em 23/02/2010.

em temperatura máxima registrada. O resultado foi semelhante em solos de mesma profundidade com o cultivo de *Arachis repens*, também com a parte aérea de vegetação morta.

Em profundidades de 0.075 m, não houve diferenças significativas quanto aos valores de temperatura da mesma espécie em relação ao dia 24/10/2009, em função de ter mantido a mesma porcentagem de cobertura do solo de 8%, registrando temperatura máxima de 42 °C. Em solos de 0.10 m, o plantio com *Ophiopogon japonicus* alcançou o valor de temperatura máxima do solo de

37 °C, mantendo valores semelhantes com o cultivo de *Arachis repens* para a mesma profundidade, embora com apenas 14% de cobertura do solo.

7.6.3 Paspalum notatum

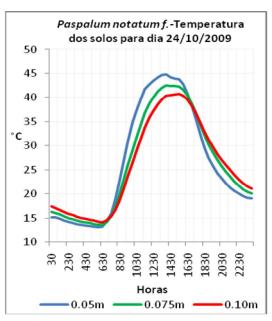


Gráfico 24. Temperatura dos solos cultivados com *Paspalum notatum*, em 24/10/2009.

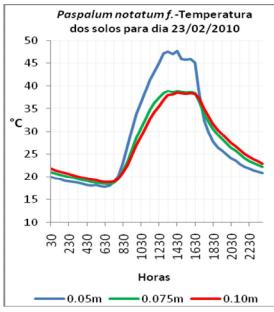


Gráfico 25. Temperatura dos solos cultivados com *Paspalum notatum*, em 23/02/2010.

Já espécie Paspalum notatum apresentou, para o dia 24/10/2009 (Gráfico 24), comportamento térmico dos solos semelhante ao cultivo da espécie Ophiopogon japonicus, também evidenciando interferência do cultivo do vegetal para a profundidade de 0.075 m, não causando praticamente nenhuma interferência em profundidade de 0.10 m ao se comparar com as outras espécies na mesma profundidade. Para 24/10/2009, os valores de temperaturas registrados foram de 44.6 °C em solos de 0.05 m; 42.5 °C nos de 0.75 m; e 40.7 °C em solos de 0.10 m, com coberturas de 7%, 11% e 16% para as plantas cultivadas em solos de 0.05 m, 0.75 m e 0.10 m, respectivamente.

Para a seguinte análise, dia 23/02/2010 (Gráfico 25), as plantas da espécie *Paspalum notatum* mantiveram 8% de cobertura do solo no tratamento de 0.05 m, que, por sua vez, influenciou no aumento de valores de temperatura para essa profundidade, alcançando valor máximo de 47.6 °C.

Em profundidade de 0.075 m, houve diferenças significativas quanto aos valores de temperatura em relação ao dia 24/10/2009, causados pelo aumento de cobertura do solo de

11% nesse dia, para 16% no dia 23/02/2010,

alcançando 38.9°C. Esses resultados evidenciaram melhor desempenho do que tratamentos de *Arachis repens* e *Ophiopogon japonicus* para o mesmo período, em função da maior cobertura do solo e depósito de folhas secas, as quais auxiliaram na retenção de umidade no solo. Em solos de 0.10 m, o plantio com *Paspalum notatum*, com cobertura do solo em 17% apresentou registros de temperatura não muito diferente em relação aos outros cultivos, *Arachis repens e Ophiopogon japonicus* para esta mesmo data, alcançando para a espécie *Paspalum notatum*, 38.5 °C de temperatura máxima, com um atraso no aquecimento do solo também em cerca de duas horas em relação a este mesmo bloco no tratamento de 0.05 m, em função de possuir maior volume de sólido representado pelo substrato.

8. CONCLUSÕES

8.1 Quanto ao desempenho do cultivo das plantas

Os resultados obtidos neste experimento indicaram as espécies *Ophiopogon japonicus* (grama amendoim) e *Paspalum notatum* (grama batatais) em solos de 0.10 m como as que apresentaram melhor tolerância à limitação de profundidade de solo e irrigação entre as três espécies examinadas, durante a maior parte do ano em relação à espécie *Arachis repens*. No entanto, a espécie *Ophiopogon japonicus* apresentou maior tolerância ao período de inverno em relação à espécie *Paspalum notatum*, no cultivo também de 0.10 m.

Dentre as três espécies plantadas inicialmente, todas as cultivadas em solos de 0.10 m apresentaram resultados iniciais satisfatórios de cobertura do solo, crescimento vertical e sobrevivência, durante o período de disponibilidade hídrica natural (primavera e verão), porém, ao longo do trabalho, nenhuma das espécies atingiu a cobertura de 60% da área cultivada, sugerida como mínima para o melhor aproveitamento de telhados verdes pela organização "The Landscape Research, Development & Construction Society" (FLL, 1995).

As espécie Arachis repens, Paspalum notatum e Ophiopogon japonicus apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de profundidade de solo, sendo visivelmente agravadas entre julho e agosto de 2010 (inverno), em função da baixa disponibilidade hídrica e valores intensos de radiação. Estes fatores, durante esse período, provocaram estresse hídrico causando a morte de todas as unidades experimentais em todos os tratamentos da espécie Arachis repens. Durante este período apenas as unidades experimentais das espécies

Paspalum notatum e Ophiopogon japonicus, em tratamento de 0.10 m de profundidade, sobreviveram.

A espécie *Arachis repens e Ophiopogon japonicus*, cultivados em solos de 0.05 m, apresentaram maior sensibilidade para esta profundidade, debilitando-se muito rapidamente após a cessão de regas iniciais, promovendo baixa capacidade de cobertura e sobrevivência, não sendo indicada para o cultivo nessa profundidade de solo.

O crescimento vertical foi satisfatório para todas as espécies analisadas, dispensando manutenção com poda regular no primeiro ano. A altura média máxima registrada entre os tratamentos foi de 0.09 m para a espécie *Ophiopogon japonicus*.

Mesmo com a utilização de um solo de fertilidade regular, como o que foi utilizado neste estudo (apresentado no item 6.2.3), as espécies *Ophiopogon japonicus* e *Paspalum notatum* revelaram um desempenho de crescimento vertical, crescimento horizontal e sobrevivência bons. Todavia, esses resultados também podem sugerir que a utilização de solos mais férteis possa oferecer maior qualidade de desenvolvimento para crescimento horizontal e fortalecimento para a espécie *Ophiopongon japonicus* e *Paspalum notatum*, promovendo maior densidade à comunidade vegetal e facilitando o maior sombreamento do substrato do telhado.

Para a instalação de um mesmo sistema de telhado verde extensivo, com características semelhantes de solo e de clima, os resultados apresentados nos itens 7.3.1 ao 7.5.3 indicam a necessidade de manutenção periódica de rega entre o outono e inverno, minimizando as chances de morte das plantas.

A adição de estruturas armazenadoras de água junto ao solo ou sob ele, como grades de materiais de função higroscópica, recipientes plásticos em molde de cápsulas ou mantas retentoras de água, que por sua vez contenham um volume a ser preenchido por água, que possam ser envolvidos pela manta filtrante em contato com o solo, funcionariam de certa forma como um reservatório, podendo suprir o solo com umidade sem intervenção mecânica do operador durante períodos de ausência de chuvas, como apresentado em estruturas de telhados verdes experimentais em trabalhos de Getter et al. (2007a), Rowe et al. (2006) e Durhman et al (2007).

8.2 Quanto ao desempenho térmico dos solos

As temperaturas registradas em solos de 0.05 m e 0.075 m variaram significativamente com a perda da cobertura vegetal viva, além de apresentarem um período menor para o aquecimento e o armazenamento de calor. Em solos de 0.10 m, com a perda da vegetação (*Arachis repens*) não houve variação de temperatura, todavia apresentou, em todos os tratamentos um atraso no aquecimento, em função da inércia térmica do material constituído pelo solo, o que revelou um atraso de aquecimento do solo de, no mínimo, duas horas em relação aos outros tratamentos mais delgados.

A diferença de temperatura máxima entre os tratamentos chegou a atingir 10 °C para *Arachis repens* (0.05 m e 0.10 m), de 10 °C para o tratamento de *Ophiopogon japonicus* (0.05 m e 0.10 m) e de 9 °C para o tratamento de *Paspalum notatum* (0.05 m e 0.10 m).

Concluiu-se também que solos mais profundos favoreceram maior cobertura vegetal horizontal do solo. Porém foi observado que os de espessura de 0.05 m e 0.075 m foram mais dependentes da vegetação para retardar o seu aquecimento ao contrário dos solos mais profundos. Já em solos de 0.10 m, foi observado o melhor desempenho térmico, embora o solo não tenha variado seu comportamento térmico significativamente com o cultivo das três diferentes espécies de plantas, referentes aos valores de cobertura do solo atingidos neste experimento, mesmo se o cultivo estivesse vivo ou morto, revelando a importância do fator de inércia térmica do solo para a aplicação em telhados. Esta conclusão evidencia que solos de menor espessura são mais dependentes de cobertura vegetal para minimizar seu aquecimento devido ao sombreamento e formação de uma câmara de ar, que os solos de maior espessura o fazem com menor dependência da vegetação em função da massa térmica do substrato.

8.3 Sugestões e recomendações para trabalhos futuros

A partir das experiências adquiridas no desenvolvimento desta dissertação, podem-se apresentar algumas recomendações para trabalhos futuros de investigação de espécies apropriadas para telhados verdes, como o uso de várias espécies em cultivo simultâneo na mesma área, a fim de minimizar a perda de cobertura por algum efeito negativo que afete uma espécie específica. Também se recomenda a observação quanto ao surgimento e a supressão

de ervas daninhas no uso de comunidades ou populações de vegetais, relacionando esse fator à estrutura taxonômica da cobertura.

Também são sugeridos alguns temas para trabalhos futuros no sentido de se aprofundarem os estudos aqui observados:

- comparação entre diferentes sistemas de coberturas vegetais, variando as espessuras das camadas de substrato, diferentes sistemas de retenção de água e adoção de diferentes espécies de vegetal;
- Atribuir medições de teor de umidade dos solos ao longo de um ano inteiro, nos diferentes tratamentos de profundidade de solo, a fim de acompanhar quantificar seu valor;
- avaliar o desempenho de cobertura do solo, sobrevivência e crescimento vertical em tratamentos com e sem irrigação periódica ao longo de um ano;
- avaliar o desempenho de cobertura do solo, sobrevivência e crescimento vertical em tratamentos com diferentes tipos e composições de substratos;
- avaliar e comparar o desempenho térmico dos solos nos diferentes tratamentos de profundidade, em cultivos com 100% de vegetação viva e vegetação morta;
- medições de retenção de água em diferentes sistemas de cobertura, bem como em diferentes sistemas de coberturas vegetais.

9. REFERENCIAS

AB'SABER, A. N. A propósito da periodicidade climato-hidrológica que vem provocando grandes crises em Santa Catarina. **Estud. av.**, v. 23, n. 67, 2009.

ARCHITECTURAL SERVICES DEPARTMENT. **Study on Green Roof Application in Hong Kong**, Final Report, Urbis Limited, Hong Kong. 2007. 115p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo- Analise Granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. et al. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO (Irrigation and Dranaige Paper, 56), 1998. 300p.

ASTM E 2400. Standard guide for selection, installation, and maintenance of plants for green roof systems. **ASTM International**, West Conshohocken, Pa, 2006.

BANTING, D.; DOSHI, H.; LI, J.; MISSIOS, P.; AU, A.; CURRIE, B.; VERRATI, M. Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. City of Toronto and Ontario Center of Excellence – Earth and Environmental Technologies (OCE-ETech), 2005. 88p.

BEATTIE, D.; BERGHAGE, D. Green roof media characteristics: the basics. In: Proceedings of the second Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Portland, 5. 2004.

BONHAM, C. D. **Measurements for Terrestrial Vegetation.** 2^a Ed. New York: JOHN WILEY & SONS, 1989. 337p.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BROUSSARD, M.C. A horticultural study of *Liriope* and *Ophiopogon*: nomenclature, morphology, and culture. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Horticultura), Universidade Estadual de Louisiana, Estados Unidos da América, 2007.

CABUGOS, L. An Evaluation Of Five Native Plant Species For Use In Green Roofs And Storm Water Management In Hawai'i. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade do Hawai'i, Manoa, Hawai'i, Estados Unidos da América, 2008.

CARDANI, D. **Adventures in HSV Space.** Laboratório de Robótica, Instituto Tecnológico Autónomo de México, p. 1-10. 2001.

CARVALHO, V. (2009). Volume de chuvas em 2009 é o maior em 10 anos, aponta estação climatológica da UEM. Disponivel em: http://www.odiario.com/odiario/noticia/229298>. Acessado em 03/09/2010.

CHANG, J. H. Climate and Agriculture. 2^a Ed. Chicago: Aldine Publishing Company, 1971. 296p.

CLAYTON, P. A.; PRICE, M. J. **The Seven Wonders of the Ancient World**. New York: Routledge, 1989. 179p.

CLIMATEMPO. (2009). **São Paulo:** chuva de julho de 2009 é recorde. Disponivel em http://www.climatempo.com.br/destaques/2009/07/25/sao-paulo-chuva-de-julho-2009-e-recorde/>. Acessado em 03/09/2010.

COLLISCHON, W; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia.** Rio Grande do Sul: Editora UFRGS. 2008. 260p.

CONAGIN, C.H.T.M. Espécies selvagens do gênero Arachis, observações sobre os exemplares da coleção da seção de citologia. **BRAGANTIA:** Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo. V.21, n. 21, p. 341-384. 1962.

CR10X Measurement and Control Module Operato's Manual. Campbell Scientific, Inc – EUA, 2001.

CUNHA, A. P. S. R. 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. Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, 12, 2004, São Paulo. Resumos. São Paulo:USP. 2004.

CURRIE B.A.; BASS, B. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. **Urban Ecosyst**, v.11, p. 409-422, 2008.

DAY, J. M.; DART, P. J. Nitrigenase activity and Oxigen Sensitivy of the *Paspalum notatum-Azobacter paspali* Association. **Journal of Microbilogy**, v. 71, p. 103-116. 1972

DE MORAIS, C. S. de. 2004. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos/SP**.108 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil.

Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2004.

DEL BARRIO, E.P.D. Analysis of green roofs cooling potential in buildings. **Energy and Buildings.**, v. 27, p.179-193, 1998.

DE LORME, E. Garden pavilions and the 18th century french court. Suffolk: Antique Collector's. 1996.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**. v. 35, p. 69-76, 2003.

DIN 1986 Parte 2, (1978). **Drainage facilities for buildings and properties: Regulations for the determination of clearances and nominal sizes for pipes**. Edição 9/78; Beuth Publishing, Berlin.

DOWNTON, P. Your home technical manual – **Green roofs and walls. Australia's guide to environmentally sustainable homes**. Disponível em

< http://www.yourhome.gov.au/technical/fs513.html> Acessado em 27/06/2010.

DUARTE, A.P.L. Avaliação de Propriedades Termo-Hidráulicas de Solos Requeridas na Aplicação da Técnica de Dessorção Térmica. 2004. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC), Rio de Janeiro, 2004.

DUNNETT, N; KINGSBURY, N. Planting Green Roofs and Living Walls. Portland: Timber Press, 2008. 327p.

DUNNET, N.; NOLAN, A. The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-intensive green roof. **Acta hort.** v. 634, p. 305-309, 2004.

DURHMAN, A. K.; ROWE, D. B.; RUGH, C.L. Effect of Substrate Depth on Initial Growth, Coverage, and Survival of 25 Succulent Green Roof Plant Taxa. **HortScience** v. 42, n. 3, p. 588-595, 2007.

EAB. Enciclopédia Agrícola Brasileira – ESALQ. Vol. 3. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

EMILSSON, T. Extensive Vegetated Roofs in Sweden: Establishment, Development and Environmental Quality. 2005a. 34f. Tese (Doutorado em horticultura) - Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science. Department of Landscape Management and Horticultural Technology Alnar. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden, 2005a.

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

FAO (Roma, Itália). **CROPWAT: Programa de ordenador para planificar y manejar el riego.** Roma: (Estúdio FAO Riego y Drenage, 46), 1993.

FARZANEH, R.; JARRETT, A.; BERGHAGE, R. D.; BEATTIE, D. J. Evapotranspiration Rates from Extensive Green Roof Plant Species. In: Annual International Meeting Sponsored – (**ASABE**), Flórida, Estados Unidos da América. 2005

FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) ("The Landscape Research, Development & Construction Society"). Guidelines for the planning, execution and upkeep of green-roof sites. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn, Germany, 1995.

GARNETT, T. Digging for change: The potential of urban food production. **Urban Nature Magazine.** v. 3, n. 2, p. 62-65. 1997.

GERTIS, K.; WOLFSEHER, U. Veränderungen des thermischen Mikroklimas durch Bebauung. **Gesundheits-ingenieur**. 1977.

GETTER, K.L; ROWE, D.B. Effect of substrate depth and planting season on Sedum plug establishment for green roofs. **J. Environ. Hort**. v. 25, n. 2, p. 95-99. 2007.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B.; ANDRESEN, J. A. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. **Ecological Engineering. v.** 31, p. 225-231. 2007a.

GODOY, L.J.G. Adubação nitrogenada para produção de tapete de grama Santo Agostinho e Esmeralda. 2005. 122f. Tese (Doutorado em Ciências Agronômicas) - Universidade Estadual de Botucatu. Botucatu, São Paulo, 2005.

GODOY, L.J.G.; YANAGIWARA, R.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES,C.; LIMA,C.P. Análise da Imagem Digital Para Estimativa da Área Foliar em Plantas de Laranja "Pêra". Jaboticabal – SP. **Rev. Bras. Frutic**, v. 29, n.3, p 420-424. 2007.

HEINZ, W. Results of an experiment on extensive growth of vegetation on roofs. **Rasen Grunflachen Begrunungen.** v. 16, n. 3, p. 80-88. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades**. Disponível em < http://www.ibge.gov.br/cidadesat/>. Acessado em 12/12/10.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Divisão de sistemas e satélites ambientais**. Disponível em < http://satelite.cptec.inpe.br/> Acessado em 14/06/2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO (IBI). Impermeabilizações em coberturas verdes. **Revista téchne**, São Paulo, n.152, p. 41, nov.2009.

Instruction Manual: 03001 R. M. Young Wind Sentry Set / 03101 R. M. Young Wind Sentry Anemometer / 03301 R. M. Young Wind Sentry Vane. Revisado em agosto de 2007. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: LI200X Pyranometer. Revisado em janeiro de 2008. Campbell Scientific, Inc – EUA.

Instruction Manual: Model HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe. Revisado em fevereiro de 2007. Campbell Scientific, Inc – EUA.

INTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. 1982.

JOHNSTON, J; NEWTON, J. **Building Green:** a guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Greater London Authority, 2004. 124p.

- KARCHER, D.E.; RICHARDSON, M.D. Quantifying Turfgrass Color Using Digital Image Analysis. **Crop Sci.** v. 43, p. 943–951, 2003.
- KARCHER, D.E.; RICHARDSON, M.D. Batch Analysis of Digital Images to Evaluate Turfgrass Characteristics. **Crop Sci.** v. 45, p. 1536-1539. 2005.
- KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 450p.
- KLUEPFEL, M.; POLOMSKI, B. (1999). Mondo Grass. **Home & Garden Information Center. The Clemson University Cooperative Extension Service.** South California, EUA. Disponivel em
- http://www.clemson.edu/extension/hgic/plants/landscape/groundcovers/hgic1110.html. Acessado em 26/07/09.
- KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; LAAR, M. Roof Gardens in Brazil. World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brasil. p. 455-460, 2003.
- KOSAREO, L.; RIES, R. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. **Building and Environment.** v. 42, p. 2606–2613, 2007.
- KRUSCHE, P.; ALTHAUS, D.; GABRIEL, I. Ökologisches Bauen. Herausgegeben vom Umweltbundesamt. Berlin, Bauvelag Gmbh, 1982.
- LAAR, M.; SOUZA, C.; de ASSUNÇÃO PAIVA, V; AUGUSTA, TAVARES, S., et.al. Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical, 2001. In: Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído (ENCAC). São Pedro, São Paulo, 2001.
- LAAR, M.; GRIMME, F. W. **Thermal comfort and reduced flood risk through green roofs in the Tropics.** In: The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genebra, Suíça, 2006.
- LANDSCHOOT, P.J., MANCINO, C.F. A comparison of visual vs. instrumental measurement of color differences in bentgrass turf. **HortScience.** v. 35, p. 914–916. 2000.
- LIN, YI-JIUNG; HSIEN-TE. Thermal performance of different planting substrates and irrigation frequencies in extensive tropical rooftop greeneries. **Building and Environment**. v. 46, p. 345-355. 2011.
- LIU, K; MINOR, J. Performance Evaluation of an Extensive Green Roof. **Greening Rooftops for Sustainable Communities**, Washington, D.C., 2005, May 5-6, 1-11p. 2005.
- LIMA, M. P. Equações preditivas para determinar a temperatura interna do ar: envolventes em painel alveolar com cobertura verde. 2009. 161f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 2009.
- LOPES, D. A. R. Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia

Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 2007.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 4ª ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 1.120p.

LUZ, D. V. P.; VECCHIA, F. A.; FERREIRA, O. P. Sistema Construtivo e de Impermeabilização para cobertura verde, de característica leve. In: 11º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP - **SHCUSP**, São Carlos, 2003.

MACCAFERRI. (2009). Disponível em

http://www.maccaferri.com.br/pagina.php?pagina=3150&idioma=0>. Acessado em 14/08/2008.

MARINHO, F.A.M. **Medição de sucção com o método de papel-filtro.** In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações, Foz do Iguaçu, PR. vol. 2, p. 515-522. 1994.

McMarlin R.M. Green roofs: not your garden-variety amenity. Facil des manage. (ABI/Inform Global). V.16, n.10. 1997.

MARTENS, R.; BASS, B.; ALCAZAR, S.S. Roof–envelope ratio impact on green roof energy performance. **Urban Ecosyst**, v. 11, p. 399–408. 2008.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rain water runoff problem in the urbanised 21_{st} century. **Landscape and Urban Planning**, v. 77, p. 216-226. 2006.

MILLER, C. **Moisture management in Green roofs.** In: Proceedings of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops For Sustainable Communities, Chicago. 2003.

MINKE, G. **Techos verdes:** Planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevidéu: Fin de Siglo. Uruguay, 2003. 86p.

MODNA, D.; VECCHIA, F. Calor e Áreas Verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP. In: VII Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído (ENCAC) e III Conferência Latino-Americana Sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações (COTEDI), Curitiba, PR. 661-667. 2003. CD ROM. VII Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído (ENCAC) e III Conferência Latino-Americana Sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações (COTEDI).

MODESTO, Z.M.M. Botânica. Editora Pedagógica e Universitária Ltda. 1981.

MONTERUSSO, M.A.; ROWE, D.B.; RUGH. C.L; RUSSELL, D.K. Runoff water quantity and quality from green roof system. **ActaHortic.** v. 639, p. 369-376. 2004.

MONTERUSSO, M.A.; ROWE, D.B.; RUGH. C.L. Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. **HortScience** v. 40, n. 2, p. 391-396. 2005.

MOTA, F.S. Meteorologia Agícola. 4ª. Ed. São Paulo: Nobel, 1979. 376p.

NIACHOU A.; PAPAKONSTANTINOU, K.; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASSOULIS, A.; MIHALAKAKOU, G. Analysis of the Green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy Build.** v. 33, n. 7, p. 719-729. 2001

"NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990)". Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, **Departamento Nacional de Meteorologia**, Brasília-Brasil, 1992.

OLMSTEAD, M.A.; WAMPLE, R.; GREENE, S.; TARARA, J. Nondestructive Measurement of Vegetative Cover Using Digital Image Analysis. **HortScience** v. 39, n. 1, p. 55-59. 2004.

OSMUNDSON, Theodore. **Roof Gardens. History, Design and Construction**. W.W. New York, Norton & Company, Inc. 1999.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C; KUHN, M. E.; BASS, B. 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: Mortgage and Housing, 1999. 78p.

PECK, S. KUHN, M. (2004). Design guidelines for green roofs. **Ed. OAA (Ontario Association of Architects) e CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation).** Disponível em:

http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile .cfm&pageid=70146 > .Acessado em 02/06/2009.

PLEDGE, E. **Green Roofs:** Ecological Design and Construction. Philadelphia: Shiffler, 2005. 154 p.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranpiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, A. R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. Belo Horizonte: FAPI, 2006. 150p.

PORSCHE, U.; KÖHLER, M. Life Cycle Costs Of Green Roofs. A Comparison of Germany, USA, and Brazil. RIO 3 - World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil. p. 461-467. 2003.

RASA, S.H. et al. Effect of vegetation on urban climate and healthy urban colonies. **Energy and Buildings.** V. 15, n. 3-4, p. 487-491. 1991.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 7° Ed. 2007. 858p.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manoele Ltda, 1990. 188p.

RICHARDSON, M.D.; KARCHER, D.E.; PURCELL, L.C. Quantifying Turfgrass Cover Using Digital Image Analysis. **Crop Sci.** v. 41, p. 1884–1888. 2001.

- RIETZLER, A. C.; MATSUMURA-TUNDISI, T; TUNDISI, J.G. Life Cycle, Feeding and Adaptive Strategy Implications on the Co-occurrence of *Argyrodiaptomus Furcatus* and *Notodiaptomus Iheringi* in Lobo-Broa Reservoir (SP-Braszil). **Braz. J. Biol.** v. 62, n. 1, p. 93-105. 2002.
- RINCÓN, C.A.; CUESTA, M.P.A.; PEREZ, B.R. Maní forrajero perenne (*Arachis pintoi* Krapovickas e Gregory): Una alternativa para ganaderos e agricultores. Bogotá: **Instituto Colombiano Agropecuário**, 1992. 23p. (Boletín Técnico, 219)
- ROSA D' ÁVILA, M.; PERALTA, Ê.S.; FRITSCHER, J.P.C.; CUNHA, S.C.C. Sustentabilidade na Edificação: Estudo e Execução da Tecnologia Telhado Vivo na Região Metropolitana de Porto Alegre. In: 54th World Congress IFHP 2010 Porto Alegre, Building Communities for the Cities of the Future. Porto Alegre. RS. 2010.
- ROWE, D.B.; MONTERUSSO, M.A.; RUGH, C.L. Assessement of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. **HortTechnology** v. 16, p. 471-477. 2006. SAFEGUARDEUROPE. (2010). **Laying Turf on Roof.** Disponível em: http://www.safeguardeurope.com/applications/green_roofs_pitched.php>. Acessado em 27/06/2010.
- SAIZ, S.; KENNEDY, C.; BASS, B.; PRESSNAIL, K. Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. **Environ. Sci. Technol.** v. 40, p. 4312-4316. 2006.
- SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.L. **Sistema de plantio direto:** o produtor pergunta a Embrapa responde. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. 248p.
- SALVADOR, E. D.; MINAMI, K. Efeito de Diferentes Substratos no Cultivo de Grama Santo Agostinho (*Stenotaphrum secundatum* kuntze) em bandejas. **Ciênc. Agrotec.,** Lavras, v. 25, n. 5, p. 1079-1086. 2001.
- SANDANIELO, A. Estudo do ciclo diário do regime térmico do solo de Viçosa-MG, sob três condições de cobertura. 1983. 68f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.
- SCHADE, C. Wasserrückhaltung und Abflussbeiwert bei dünnschichictigen extensivbegrünungen. **Stadt ud Grün.** v. 49, n. 2, p. 95-100.2000.
- SCHRADER; BÖNING. Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. **Pedobiologia** v. 50, p. 347—356. 2006.
- SCHÖFFEL, E. R.; MENDEZ, M. E. G. Influência da cobertura sobre o perfil vertical de temperatura do solo. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Piracicaba, SP, Brasil. 2005.
- SNODGRASS, E; SNODGRASS, L. **Green Roof Plants**: A Resource and Planting Guide. Portland: Timber Pres Inc, 2006. 220p.
- SPALA, A.; BAGIORGAS, H.S.; ASSIMAKOPOULOS, M. N.; KALAVROUZIOTIS, J.;

MATTHOPOULOS, D.; MIHALAKAKOU, G. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. **Renewable Energy.** vol. 33, p. 173–177. 2008.

SPSS Inc. Sigma Scan Pro 5.0. SPSS Science Marketing Department, Chicago, IL. 1998.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. Geografía física. 3 ed. Barcelona: Ômega, 1989. 636p.

SZOKOLAY, S. V. Green Design. Budapeste: Kiadó, 1998. 168p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 3°ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAN, P. Y.; SIA, A. A Selection of Plants for Green Roofs in Singapore. Singapore: National Parks Board. 2005.

THOROGOOD, D.; BOWLING, P.J.; JONES. R.M. Assessment of turf colour change in *Lolium perenne* L. cultivars and lines. **Int. Turfgrass Soc. Res. J.** v.7, p. 729–735. 1993. UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Integrated Pest management Program. Disponível em http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG. Acessado em 30/10/2010.

USEPA. **Protecting water quality from urban runoff**. EPA 841-F-03-003. U.S.E.P.A., Washington, DC, 2003.

VALLS, J.F.M. **Origem do germoplasma de** *Arachis pintoi* **disponível no Brasil**. In: PIZARRO, E.A. (ed.). RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES (RIEPT). 1a. Reunião Sabanas, Nov. 1992, Brasília. *Documento de Trabalho*, 117. **Cali, CIAT,** p. 81-96.1992.

VANWOERT, N.D; ROWE, D.B.; ANDRESEN, J.A.; RUGH, C.L.; XIAO, L. Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. **HortScience** v. 40, n. 3, p. 659-664. 2005.

VANWOERT, N.D; ROWE, D.B.; ANDRESEN, J.A.; RUGH, C.L.; FERNANDEZ, R.T.; XIAO, L. Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth. J. **Environ. Quality** v. 34, n. 3, p. 1036-1044. 2005a.

VECCHIA, F. Cobertura Verde Leve (CVL): Ensaio Experimental. In. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), 2005. CD ROM . Maceió, AL, Brasil. p. 2146-2155. 2005. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC).

VECCHIA, F.; CASTEÑEDA, G.; QUIROA, J. A. Aplicación de cubiertas verdes em climas tropicales. Ensayo experimental comparativo com techumbres convencionales. **Tecnología y Construcción** v.22, n.2, p. 09-13. 2006.

VECCHIA, F.; LIMA, M. P.; ARANTES, D. (2004). Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVL's) aplicadas aos climas tropicais. **USP:** São Carlos.

Disponível em:

http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/pesquisas/14/tetoverde/index.html. Acesso em: 29/05/2008.

WEBSHOTS. Disponível em

http://www.webshots.com/collections/winter/winter-p247.html Acessado em 18/09/2010.

WMO - guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No 8. Disponível em http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/CIMO%20Guide%207th%20Edition,%202008/Part%20I/Chapter%202.pdf Acessado em 13/05/2009.

WOLLET, T.; KIMMINS, S. **Green Building**: a guide to products and their impact on the environment. Suffolk, Inglaterra. E&F Spon, 2000.

WONG, N.H.; Y. CHEN; C. L. ONG; A. SIA. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**. v. 38, n. 2, p. 261-270. 2003.

APÊNDICE A

Espécies de plantas utilizadas em coberturas verdes nos Estados Unidos da América (Fonte: (OSMUNDSON, 1999).

| NOME CIENTÍFICO | NOME POPULAR |
|---------------------------------------|--|
| Agapanthus africanus | Agapantos |
| Antirrhinum majus | Boca de leão |
| Aptenia cordifolia | Aptenia |
| Asparagus densiflorus | Aspargo-rabo-de-gato, aspargo-pluma |
| Axonopus compressus | Grama São Carlos |
| Begonia cucullata | Begônia sempre florida |
| Bulbine frutescens | Cebolinha, bulbine |
| Buxus sempervirens | Buxinho, buxo, árvore-de-caixa |
| Celosia argêntea | Crista de galo |
| Chamaecyparis obtusa nana gracilis | Cipreste de hinochi |
| Chamaecyparis pisifera filifera áurea | Tuia macarrão |
| Chrysanthemum paludosum | Margarida mini |
| Cornus florida Cornos | pink-dog-wood |
| Cotoneaster congesta | bonsai |
| Cotoneaster dammeri | Cotoneaster |
| Cryptomeria japonica | Pinheiro vermelho |
| Cunninghamia lanceolata | Cuningania |
| Cupressus sempeivirens | Cipreste italiano |
| Dahlia pinnata | Dália mini |
| Daphne cneorum | Louro |
| Duranta repens | Pingo de ouro |
| Euonymus fortunei vegetus | Evônimo |
| Ficus pumila | Unha de gato |
| Hedera canariensis | Hera batata |
| Hypericum spp. | Milfurada |
| Ilex aquifoliun | Azevinho |
| Ilex cornuta | Arbusto chinês, bonsai |
| Ilex crenata convexa | Ilex |
| Ixora chinensis | Ixora chinesa |
| Jasminum mesnyi | Jasmim amarelo |
| Juniperus chinensis pfitzoriana | Junipero chinês |
| Juniperus chinensis torulosa | Tuia kaizuka |
| Juniperus horizontalis | Pinheiro rasteiro |
| Ligustrun sinense | Ligustrinho verde |
| Liripoe muscari | Barba-de-serpente |
| Magnólia X soulangeana | Magnólia |
| Mahonia bealei | Mahonia |
| Paspalum notatum | Grama batatais |
| Pedilanthus tithymaloides | Dois amores, dois irmãos, sapatinho-de-judeu |
| Pilea microphylla | Brilhantina |
| Plumbago capensis | Bela Emília |
| Portulaca grandiflora | Portulaca, onze-horas |
| Pyracantha coccínea | Piracanta |
| Raphiolepsis umbellata | Rosinha da Índia |
| Rhododendron Exbury hybrids | Azaléia rosa |
| Rhododendron prunifolium | Azaléia |

continua

| Rosa chinensis | Rosa mini |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Senecio confusus | Jalisco, margaridão, flama-do-méxico |
| Spiraea incisa | Flor-de-noiva |
| Stenotaphrum secundatum | Grama Santo Agostinho |
| Suculentas | Suculentas |
| Thuia ocidentalis | Tuia áurea |
| Thumbergia erecta | Tumbergia azul arbustiva |
| Tradescantia pallida | Coração roxo, tapueraba |
| Tradescantia spathacea | Abacaxi roxo, Moisés-no-berço |
| Tradescantia zebrina | Tapueraba roxa, lambari roxo. |
| Viburnum plicatum tomentosum | Viburno |
| Viburnum tinus | Laurotino |
| Viola x wittrockiana | Amor perfeito |
| Zoysia japonica | Grama esmeralda |

APÊNDICE B

Espécies de plantas utilizadas em coberturas verdes na China (Fonte: ARCHITECTURAL SERVICES DEPARTMENT, 2007).

| NOME CIENTÍFICO | FAMÍLIA |
|--------------------------------------|------------------|
| | 4 77: 1 |
| Zephyranthes candida | Amaryllidaceae |
| Zephyranthes grandiflora | Amaryllidaceae |
| Bryophyllum 'Crenatodaigremontianum' | Crassulaceae |
| Bryophylum fedtschenkoi | Crassulaceae |
| Furcraea foetida | Agavaceae |
| Kalanchoe tomentosa | Crassulaceae |
| Liriope muscari | Convallariaceae |
| Portulaca oleracea | Portulacaceae |
| Portulaca pilosa | Portulacaceae |
| Rhipsalis mesembryanthemoides | Cactaceae |
| Sansevieria trifasciata | Dracaenaceae |
| Sedum acre | Crassulaceae |
| Sedum lineare | Crassulaceae |
| Sedum mexicanum | Crassulaceae |
| Sedum nussbaumerianum | Crassulaceae |
| Sedum sarmentosum | Crassulaceae |
| Sedum sexangulare | Crassulaceae |
| Sesuvium portulacastum | Aizocea |
| Tradescantia pallida 'Purpurea' | Commelinacea |
| Commelina diffusa | Commelinacea |
| Murdannia nudiflora | Commelinacea |
| Murdannia vaginata | Commelinacea |
| Portulaca grandiflora | Portulacaceae |
| Arachis duranensis | Fabaceae |
| Arachis pintoi | Fabaceae |
| Axonopus compressus | Poaceae |
| Stenotaphrum dimidiatum | Poaceae |
| Wedelia chinensis | Asteraceae |
| Wedelia trilobata | Asteraceae |
| Scutellaria indica | Lamiaceae |
| Melastoma dodecandrum | Melastomataceae |
| Vitex rotundifolia | Verbenaceae |
| Crinum asiaticum var. sinicum | Liliaceae |
| Hymenocallis littoralis | Liliaceae |
| Osbeckia chinensis | Melastomataceae |
| Sansevieria trifasciata | Agavaceae |
| Alternanthera bettzickiana | Amaranthaceae |
| Cyathula prostrate | Amaranthaceae |
| Lantana sellowiana | Verbenaceae |
| Nephrolepis exaltata | Nephrolepidaceae |
| Ophiopogon jaburan | Liliaceae |
| Ophiopogon japonicus | Liliaceae |
| Asparagus densiflorus | Liliaceae |
| Baeckea frutescens | Myrtaceae |
| Rhoeo discolor | Commelinaceae |

continua

| Rhoeo discolor 'Compacta' | Commelinaceae |
|---------------------------|---------------|
| Cuphea hyssopifolia | Lythraceae |
| Iris tectorum | Iridaceae |
| Liriope spicata | Liliaceae |
| Epipremnum aureum | Araceae |
| Aerve songuinolenta | Amaranthaceae |
| Zoysia japonica | Poaceae |

APÊNDICE C

Espécies de plantas utilizadas em coberturas verdes em Singapura: (Fonte: TAN e SIA; 2005)

| NOME CIENTÍFICO | FAMÍLIA |
|--|-----------------|
| Alternanthera ficoidea 'White Carpet' | Amaranthaceae |
| Aptenia cordifolia | Aizoceae |
| Bryophyllum 'Crenatodaigremontianum' | Crassulaceae |
| Bryophyllum fedtschenkoi | Crassulaceae |
| Callisia repens | Commelinaceae |
| Carpobrutus edulis | Aizoceae |
| Commelina diffusa | Commelinaceae |
| Cyanotis cristata | Commelinaceae |
| Delosperma cooperi | Aizoceae |
| Furcraea foetida 'Mediopicta' | Agavaceae |
| Kalanchoe tomentosa | Crassulaceae |
| Liriope muscari | Convallariaceae |
| Murdannia nudiflora | Commelinaceae |
| Murdannia vaginata | Commelinaceae |
| Plectranthus verticillatus | Labiatae |
| Portulaca grandiflora | Portulacaceae |
| Portulaca oleracea | Portulacaceae |
| Portulaca pilosa | Portulacaceae |
| Rhipsalis mesembryanthemoides | Cactaceae |
| Sanseviera trifasciata 'Golden Hahnii' | Dracaenaceae |
| Sanseviera trifasciata 'Hahnii' | Dracaenaceae |
| Sanseviera trifasciata 'Laurentii' | Dracaenaceae |
| Sedum acre | Crassulaceae |
| Sedum mexicanum | Crassulaceae |
| Sedum nussbaumerianum | Crassulaceae |
| Sedum sarmentosum | Crassulaceae |
| Sedum sexangulare | Crassulaceae |
| Sesuvium portulacastum | Aizoceae |
| Tradescantia pallida 'Purpurea' | Commelinaceae |
| Tulbaghia violacea | Alliaceae |
| Variegated sedum | Crassulaceae |
| Zephyranthes candida | Amaryllidaceae |
| Zephyranthes rosea | Amaryllidaceae |