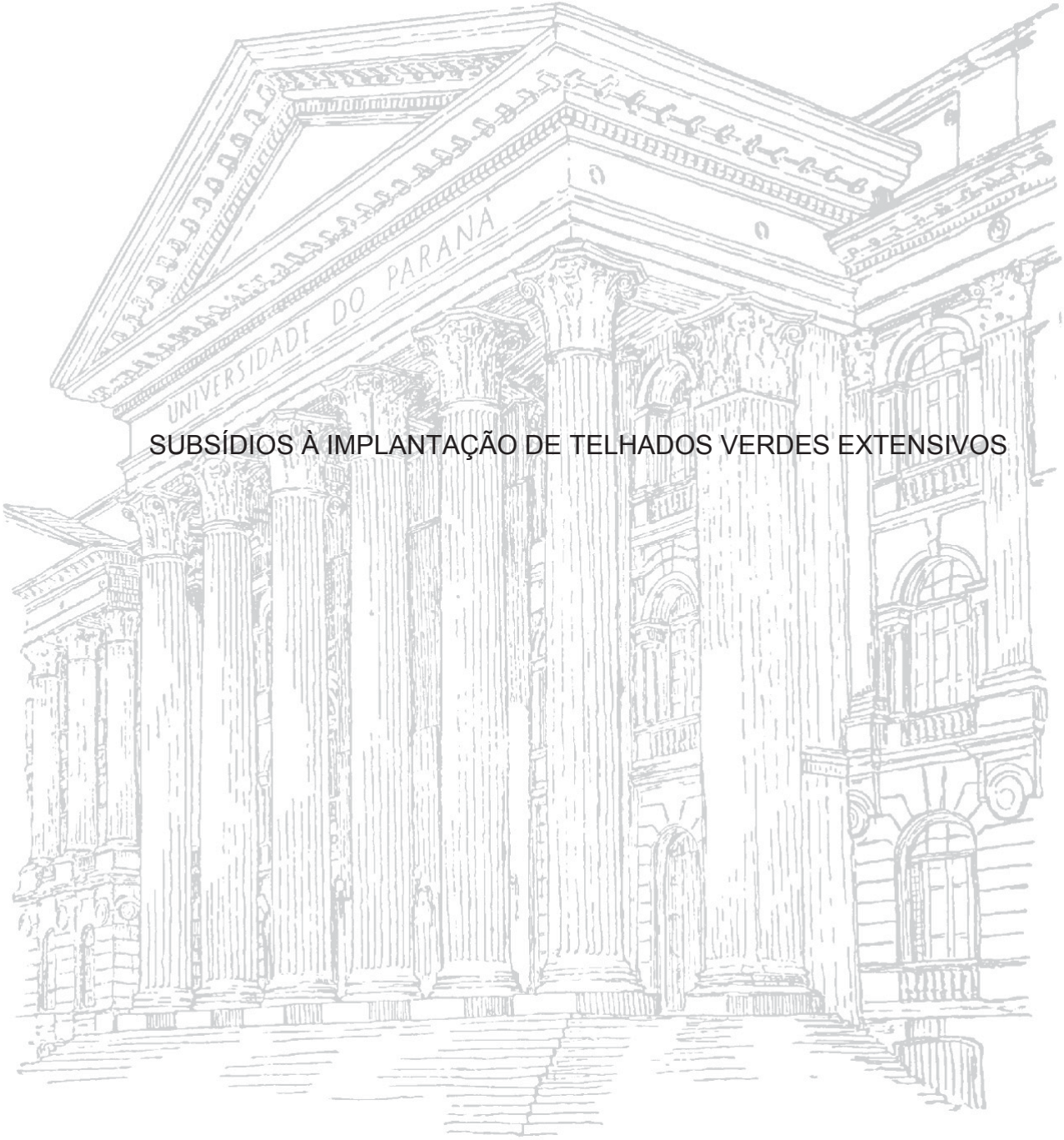
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA GRASSI NOYA



SUBSÍDIOS À IMPLANTAÇÃO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

CURITIBA

2018

MARIANA GRASSI NOYA

SUBSÍDIOS À IMPLANTAÇÃO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Ciências Agrárias.

Orientadora: Profª. Drª. Francine Lorena Cuquel

CURITIBA

2018

N949s

Noya, Mariana Grassi
Subsídios à implantação de telhados verdes extensivos / Mariana Grassi Noya. - Curitiba, 2018.
116 p.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - (Produção Vegetal).
Orientadora: Francine Lorena Cuquel

1. Cobertura vegetal. 2. Telhados verdes. 3. Plantas ornamentais. 4. Substrato. 5. Desenvolvimento sustentável. I. Cuquel, Francine Lorena. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDU 502.131.1

Sistema de Bibliotecas/UFPR, Biblioteca de Ciências Agrárias Douglas Alex Jankoski – CRB 9/1167

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL)

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MARIANA GRASSI NOYA** intitulada: **SUBSÍDIOS À IMPLANTAÇÃO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 23 de Fevereiro de 2018.

FRANCINE LORENA CUQUEL
Presidente da Banca Examinadora

DANIEL MURARO
Avaliador Externo

SÉRGIO FERNANDO TAVARES
Avaliador Externo

RAQUEL REJANE BONATO NEGRELLE
Avaliador Interno

GILMAR SCHAFER
Avaliador Externo

ROBSON ANDRÉ ARMINDO
Avaliador Externo

Quem não tem jardins por dentro,
Não planta jardins por fora
E nem passeia por eles.
Rubem Alves.

AGRADECIMENTOS

As plantas são minhas maiores incentivadoras e motivo de muito agradecimento, respeito e amor, sem elas nada funciona.

Agradeço ao meu pequeno príncipe, Artur, por esperar a mamãe estudar!

Agradeço a minha amiga e orientadora querida Francine Cuquel.

Agradeço a minha mãe Marta, irmã Aline e sobrinha Joana, por existirem na minha vida.

E agradeço, também, a todas as pessoas queridas que sempre ajudaram e se dedicaram de corpo e alma: Josélia e Armando. Além do pessoal da marcenaria da Fazenda Canguiri.

Agradeço ao Robson Armindo, sempre ao lado desde o mestrado.

Agradeço ao Sergio Tavares, pelos comentários e elogios!

E a Raquel Negrelle que muito contribuiu com suas considerações!

Ao Gilmar Schafer, pelas observações importantes no trabalho e pelas incansáveis correções.

A Daniele Zanotim pelos felizes momentos na fazenda, nas idas e vindas com muita conversa e troca.

Ao Jota Gomes que chegou há pouco tempo e já fez toda a diferença, além de contribuir com a direção de arte.

Aos meus queridos alunos e colegas da PUC – PR.

Agradeço à CAPES.

Enfim, a todas as pessoas que sempre ouviram minhas ideias mirabolantes, por vezes difíceis de executar, porém sendo atentas e incentivadoras: também fez toda a diferença!

Quando a gente encerra uma etapa dessas fica muito difícil elencar e citar tudo o que foi importante e fez o trabalho se concretizar. Porém, o tempo nos faz refletir, olhar para trás e ver que sempre vale a pena.

RESUMO

O estabelecimento de telhados verdes é considerado como alternativa para o aumento de vegetação e de áreas permeáveis em zonas urbanas. Ele propicia economia de energia elétrica, mitigação do efeito de ilhas de calor urbano, retenção de água das chuvas e melhoria da qualidade do ar. Entretanto, nem todas as plantas se adequam às condições limitantes inerentes ao cultivo de telhados verdes extensivos, como crescimento em substratos pouco espessos devido a razões construtivas e dificuldade de acesso aos telhados para manejo da vegetação, adubação, controle de pragas e doenças. Embora, o plantio de telhados verdes já esteja estabelecido mundialmente, pouco se sabe sobre as características mais adequadas dos substratos, possibilidade de utilização de materiais locais alternativos, recicláveis e de menor custo e as espécies herbáceas disponíveis no mercado local adequadas para esta finalidade, atendendo as recomendações técnicas mundiais. Em vista disso, foi desenvolvida, na região de Curitiba, esta pesquisa em protótipos de madeira cobertos com telhas de fibrocimento reproduzindo um telhado convencional, com o intuito de fornecer subsídios ao cultivo de telhados verdes com seleção de substratos e vegetação adequada que favoreça cobertura vegetal. Antes do cultivo foram desenvolvidos e analisados física e quimicamente 16 substratos provenientes de misturas de materiais locais, de baixo custo e de fácil disponibilidade. A partir dos resultados das análises foram selecionados os quatro melhores substratos com porosidade total acima de 85, descartando-se aqueles com elevados teores de água remanescente e elevados níveis de AFD, AT e EA. Nestes substratos foram cultivados *Sedum acre* e *Arachis repens*, espécies previamente recomendadas para telhados verdes em outras condições climáticas. Na sequência, visando aumentar a cobertura vegetal sobre os telhados foram cultivadas nestes protótipos *Callisia repens* e *Polygonum capitatum*, plantas espontâneas em ambientes urbanos, mediante inoculação do substrato com fungos micorrízicos arbusculares. A seguir foram avaliados os efeitos do consórcio de *Arachis repens* (espécie indicada para o verão) e *Festuca arundinacea* (espécie indicada para o inverno). Posteriormente, foi avaliado o estabelecimento de oito espécies herbáceas ornamentais tolerantes ao frio, *Aptenia cordifolia*, *Echeveria elegans*, *Gazania rigens*, *Lysimachia congestiflora*, *Ophiopogon japonicus*, *Osteospermum ecklonis*, *Oxalis vulcanicola e Zephirantes candida*. Durante toda a pesquisa foi efetuado monitoramento diário da temperatura e precipitação e da cobertura vegetal mediante captação e digitalização de imagens quinzenais. O substrato mais indicado para cultivo em telhados verdes é composto de esterco curtido de aves e serragem na proporção 1:1. *S. acre*, *F. arundinacea*, *O. japonicus* e *E. elegans*, são as espécies mais indicadas para cultivo na região e se estabelecem com cobertura vegetal acima de 80%. O uso de micorrizas incorporado ao substrato auxilia no melhor desenvolvimento e garante cobertura vegetal de *C. repens*.

Palavras-chave: cobertura vegetal, substratos para telhado verde, espécies ornamentais, qualidade física e química de substratos, cidades sustentáveis, ilhas de biodiversidade.

ABSTRACT

The establishment of green roofs has been an alternative and worldwide trend of increasing vegetation and permeable areas in urban areas, providing benefits such as energy savings, mitigation of the urban heat islands effect, rainwater retention and air quality improvement. However, not all plants are suitable for the limiting conditions inherent to the cultivation of extensive green roofs, such as growth on thin substrates due to constructive reasons and difficult access to the roofs for vegetation management, fertilization, pest control, diseases and weeds. Although planting of green roofs worldwide is already well established, little is known about the most appropriate characteristics of the substrates, the possibility of using alternative, recyclable and lower cost local materials and the local species most adapted for cultivation under the climatic conditions of Brazil. This research was developed in prototypes of wood covered with asbestos cement tiles reproducing a conventional roof, with the purpose of providing subsidies to the cultivation of green roofs with local materials and spontaneous vegetation. Before cultivation, 16 substrates from local materials mixtures were developed and analyzed physically and chemically, with low cost and easy availability. From the results of the analysis the four best substrates with total porosity above 85 were selected, discarding those with high levels of remaining water and high levels of AFD, AT and EA. *Sedum acre* and *Arachis repens*, previously recommended for green roofs under other climatic conditions, were grown on these substrates. In order to increase the vegetation cover rate on the roofs, the protoplasts *Callisia repens* and *Polygonum capitatum*, spontaneous plants in urban environments, were inoculated with substrate inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. The effects of the consortium of *A. repens* (species indicated for the summer) and *Festuca arundinacea* (species indicated for winter) were evaluated. Later, the establishment of eight cold tolerant ornamental herbaceous species, *Aptenia cordifolia*, *Echeveria elegans, Gazania rigens, Lysimachia congestiflora, Ophiopogon japonicus, Osteospermum ecklonis, Oxalis vulcanicola* and *Zephirantes candida* were evaluated. Throughout the research, the monitoring of daily temperature and precipitation and vegetation cover rate were carried out through the capture and digitalization of biweekly images. The most suitable substrate for cultivation on green roofs is composed of tanned poultry manure and sawdust in a ratio of 1: 1. *S. acre*, *F. arundinacea*, *O. japonicus* and *E. elegans*, are the most suitable species for cultivation in the region and are established with vegetative cover above 80%. The use of mycorrhizae incorporated in the substrate helps in the best development and guarantees plant cover of C. repens.

Keywords: green cover, substrates, substrates for green roofs, ornamental species, physical and chemical quality of substrates, vegetation cover rate, sustainable cities, islands of biodiversity.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Cobertura vegetal (%) do consórcio de *Festuca arundinacea* e *Arachis repens* cultivados no sistema de consórcio e *Festuca arundinacea* sem consórcio, em protótipo de telhado verde extensivo, no período de junho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 56

Tabela 1. Cobertura vegetal (% da área total do telhado verde) propiciada por *Callisia repens* cultivada em protótipos de telhados verdes com e sem micorriza nos períodos de verão, outono e inverno. 69

Tabela 2. Cobertura vegetal (% da área total do telhado verde) propiciada por *Polygonum capitatum* cultivada em protótipos de telhados verdes com e sem micorriza nos períodos de verão, outono e inverno. 74

Tabela 4. Teor total de macro e micronutrientes no substrato composto por casca de arroz carbonizada; turfa de *Sphagnum* e vermiculita (1:1,33:1), ao final da pesquisa. 76

Tabela 5. Qualidade física e química do substrato composto de casca de arroz carbonizada; turfa de *Sphagnum*; vermiculita na proporção 1:1,33:1, antes do cultivo. 76

Tabela 6. Qualidade física e química do substrato composto de casca de arroz carbonizada; turfa de *Sphagnum*; vermiculita na proporção 1:1,33:1, após o cultivo com *Callisia repens* com e sem micorriza e *Polygonum capitatum* com e sem micorriza. 77

Tabela 7. Número de plantas espontâneas identificadas em *Polygonum capitatum* com e sem micorriza no substrato, ao final da pesquisa. 78

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do substrato para cultivo em telhados verdes extensivos. 88

Tabela 2. Período para cobertura vegetal total da área e taxa de sobrevivência de espécies ornamentais em telhado verde extensivo, Pinhais, PR. 92

Figura 2. Telhado verde intensivo instalado sobre a sede da Prefeitura de São Paulo. 16

Figura 3. Telhado verde semi-intensivo no Multipalco do Theatro São Pedro, Porto Alegre. 16

Figura 4. Telhado verde biodiverso. Fonte: Chicago City Hall, 2015. 17

Figura 1. Protótipos de telhados verdes extensivos com estrutura de madeira e telhas de fibrocimento com inclinação de 5%, Pinhais, PR. 54

Figura 2. *Festuca arundinacea* após dois meses de cultivo, sem consórcio, no mês de julho, em sistema de telhado verde extensivo. Pinhais, PR, 2016. 57

Figura 3. Temperatura e precipitação no período compreendido entre julho de 2015 a agosto de 2016, Pinhais, PR. 57

Figura 4. *Festuca arundinacea* cultivada em telhado verde extensivo, no mês de junho, após a primeira geada em 2016, Pinhais – PR. 58

Figura 1. Protótipos de telhados verdes extensivos com telhas de fibrocimento, estrutura de madeira e ripas para contenção do substrato. Fonte: Noya (2015). 67

Figura 3. Temperatura e pluviosidade mensais compreendidas entre o período de dezembro de 2014 a agosto de 2015, Pinhais, PR. Fonte: SIMEPAR (2015). 70

Figura 4. *Callisia repens* cultivada sem micorriza (A); *Callisia repens* cultivada em protótipos de telhados verdes com micorriza (B) (verão, 2014). 72

Figura 5. *Callisia repens* cultivada sem micorriza (A); *Callisia repens* cultivada em protótipos de telhados verdes com micorriza (B) (outono, 2015). 72

Figura 6. *Callisia repens* cultivada sem micorriza (A); *Callisia repens* com micorriza (B) (inverno, 2015). 73

Figura 7. *Polygonum capitatum* cultivado com micorriza (A); *Polygonum capitatum* cultivado sem micorriza (B) (verão, 2014). 74

Figura 8. *Polygonum capitatum* cultivado com micorriza (A); *Polygonum capitatum* cultivado sem micorriza (B) (outono, 2015). 75

Figura 9. *Polygonum capitatum* cultivado com micorriza (A); *Polygonum capitatum* cultivado sem micorriza (B) (inverno, 2015). 75

Figura 1. Temperatura e precipitação observadas em julho de 2015 a agosto de 2016, em Pinhais, PR. 90

Figura 2. Cobertura vegetal (%) de *Aptenia cordifolia*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 91

Figura 3. Cobertura vegetal (%) de *Echeveria elegans*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 93

Figura 4. Cobertura vegetal (%) de *Echeveria elegans*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 94

Figura 5. Cobertura vegetal (%) de *Lysimachia congestiflora*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 95

Figura 6. Cobertura vegetal (%) de *Ophiopogon japonicus*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 96

Figura 7. Cobertura vegetal (%) de *Osteospermum ecklonis*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 97

Figura 8. Cobertura vegetal (%) de *Oxalis vulcanicola*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 98

Figura 9. Cobertura vegetal (%) de *Zephyranthes candida*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR. 99

Figura 10. Desenvolvimento de *Echeveria elegans* e *Aptenia cordifolia* em telhado verde extensivo, Pinhais, PR. 100

Figura 11. *Gazania rigens* e *Lysimachia congestiflora*, com estabelecimento de plantas espontâneas nos espaços vazios em telhado verde extensivo, Pinhais, PR. 100

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. REVISÃO DE LITERATURA 15
2.1 Características de substratos para telhados verdes..... 18
2.2 Materiais passíveis de utilização em substratos para uso em telhados verdes extensivos 18
2.3 Escolha das espécies 24
2.3.1 Critérios para a escolha da vegetação..... 26
2.3.2 Espécies com potencial de utilização em telhados verdes extensivos26
REFERÊNCIAS 35
3. SUBSTRATES FOR CULTIVATING HERBACEOUS PERENNIAL PLANTS IN EXTENSIVE GREEN ROOFS 42
3.1 INTRODUÇÃO.....43
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....44
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....45
3.4 CONCLUSÕES.....49
REFERÊNCIAS.....49
4. CONSÓRCIO DE *Festuca arundinacea* E *Arachis repens* CULTIVADAS EM TELHADOS VERDES EXTENSIVOS..... 50
4.1 INTRODUÇÃO 52
4.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 54
4.3 RESULTADOS 56
4.4 DISCUSSÃO 59
4.5 CONCLUSÕES 60
REFERÊNCIAS 61
5. INOCULAÇÃO DE MICORRIZAS NO SUBSTRATO PARA AUMENTO DA COBERTURA VEGETAL DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS COM C*allisia repens* E *Polygonum capitatum* 63
5.1 INTRODUÇÃO 65
5.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 67
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 69
5.4 CONCLUSÕES 79
REFERÊNCIAS 80

6. ESPÉCIES ORNAMENTAIS HERBÁCEAS PARA CULTIVO EM TELHADOS VERDES EXTENSIVOS 84
6.1 INTRODUÇÃO 86
6.2 MATERIAL E MÉTODOS 88
6.3 RESULTADOS 90
6.4 DISCUSSÃO 101
6.5 CONCLUSÕES 102
REFERÊNCIAS 103
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 105
REFERÊNCIAS 106

1. INTRODUÇÃO

Telhado verde é uma estrutura onde a vegetação é cultivada intencionalmente (GREEN ROOF CODE, 2014) em substrato adequado e com impermeabilização e drenagem pré-estabelecidas (ROOF GREENING GUIDELINE, 2010). Ele pode ser tanto um local projetado para lazer como para fornecer características visuais, sustentáveis ou ecológicas para abrigar a fauna, e também, uma combinação de ambos (GREEN ROOF CODE, 2014).

A vegetação pode ser cultivada em dois tipos básicos de telhados que estão relacionados com a espessura do substrato, e consequentemente, à carga que suportam. Telhados verdes extensivos apresentam pouca profundidade, em torno de 15 cm (IGRA, 2017) e suportam carga de até 150 kgf/m², já os telhados verdes intensivos possuem uma profundidade em torno de 1,00 m e suportam cargas maiores, de cerca de 500 kgf/m² (IGRA, 2017).

A tendência mundial de implantação desses sistemas começou na Alemanha, reconhecida como líder em tecnologias para telhados verdes, sendo o país que mais promove incentivos que reduzem os custos de instalação da infraestrutura. Na França, Suíça, Japão, Canadá, Estados Unidos e Dinamarca (BERARDI, et al., 2014; LI; YEUNG, 2014; CASTLETON et al., 2010) existem leis fomentando a instalação de telhados verdes. Já no Brasil, existem relatos de redução das taxas de impostos como forma de incentivar a implantação do sistema nos Estados de Pernambuco, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (BRASIL, 2011; RECIFE, 2015, RIO GRANDE DO SUL, 2014; SANTA CATARINA, 2010; SÃO PAULO, 2015).

O uso de telhados verdes sobre coberturas de edificações busca minimizar os efeitos da crescente urbanização, impermeabilização do solo e redução das áreas verdes nos centros urbanos. Muitos benefícios estão associados ao seu uso, como maior conforto térmico e acústico aos usuários, menor consumo de energia elétrica, diminuição do efeito de ilhas de calor em áreas urbanas, melhoria da drenagem de água das chuvas, aumento da biodiversidade na paisagem urbana, melhoria da qualidade do ar, entre outros (FRANCIS; JENSEN, 2017).

A maioria das pesquisas mundiais com telhados verdes está focada na engenharia civil, no desenvolvimento urbano e em estudos sobre redução das emissões de CO_2 (BESIR; CUCE, 2018; FRANCIS; JENSEN, 2017; ZINZI; AGNOLI, 2012; SUSCA et al., 2011; ROWE, 2012). Porém, pouco se pesquisa sobre as características mais adequadas dos substratos, possibilidade de utilização de materiais locais alternativos, recicláveis e de menor custo. Além da tecnologia de implantação existente no mercado ser de alto custo.

Outro fator importante é a escolha das espécies herbáceas, as quais devem estar disponíveis no mercado local, e apresentarem potencial para esta finalidade, atendendo as recomendações técnicas mundiais (GREEN ROOF CODE, 2014). Também é necessária cobertura vegetal acima de 90% (BUTLER; ORIANS, 2011; LI; YEUNG, 2014) para cultivo em clima subtropical e resistentes aos fatores bióticos e abióticos, presentes na maioria dos telhados verdes.

Visto ser um local com estresses fisiológicos, é necessário que haja substratos que supram as demandas vegetais. Dessa maneira, pode-se utilizar a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos visando aumentar a capacidade de absorção de água e nutrientes (YOUNG; CAMERON; PHOENIX, 2015), importantes características para cultivo em telhados verdes extensivos onde a manutenção é pouco frequente (GREEN ROOF CODE, 2014).

Assim, ao longo desse documento são apresentados os resultados de quatro experimentos realizados em protótipos de telhados verdes instalados a pleno sol, na região metropolitana de Curitiba. No capítulo III, apresenta-se um estudo sobre a definição de critérios para a seleção de substratos adequados para telhados verdes extensivos. No capítulo IV, os resultados do consórcio de plantas nativas Poaceae e Fabaceae. No capítulo V, os resultados da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no substrato e cultivo de espécies espontâneas locais. Finalizando com o capítulo VI a eficiência do cultivo de oito espécies ornamentais selecionadas pela resistência ao frio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O telhado é considerado verde quando sobre ele se efetua o plantio de espécies vegetais. Para tanto, a cobertura, seja ela laje, telha de fibrocimento, telha cerâmica, ou qualquer outro material, deve ser projetada para suportar a carga concentrada aplicada, deve ser impermeabilizada e apresentar sistema de drenagem adequado. Considera-se que eles podem ser extensivos, intensivos, semi-intensivos e biodiversos (ROOF GREENING GUIDELINE, 2010).

Os telhados verdes extensivos (Figura 1) apresentam profundidade em torno de 15 cm, suportando carga máxima de 150 kgf/m^2 e nele são cultivadas plantas herbáceas que demandem pouca manutenção e ausência de irrigação (GREEN ROOF CODE, 2014).

Figura 1. Telhado verde extensivo. Fonte: Green Roof Code, 2014.

Os telhados verdes intensivos (Figura 2) apresentam profundidade de até 1,20 m e suportam cargas maiores que 600 kgf/m², sendo compostos de plantas herbáceas, arbóreas e arbustivas, compondo parques e jardins construídos sobre lajes, sendo possível nele a execução de atividades de manutenção (GREEN ROOF CODE, 2014).

Figura 2. Telhado verde intensivo instalado sobre a sede da Prefeitura de São Paulo.

Os telhados verdes semi-intensivos (Figura 3) apresentam profundidade em torno de 0,50 m e nele são cultivadas espécies herbáceas a arbustivas (GREEN ROOF CODE, 2014).

Figura 3. Telhado verde semi-intensivo no Multipalco do Theatro São Pedro, Porto Alegre.

Considera-se telhados verdes biodiversos (Figura 4) aqueles que apresentam pouca espessura, semelhante à dos extensivos, cujas espécies são oriundas de

dispersão natural de sementes de espécies trazidas pela fauna ou semeadas diretamente no substrato do telhado (ROOF GREENING GUIDELINE, 2010).

Figura 4. Telhado verde biodiverso. Fonte: Chicago City Hall, 2015.

O incentivo do uso de telhados verdes deve ser considerado pela municipalidade como uma ação para o desenvolvimento sustentável. A economia de energia elétrica é o principal aspecto que o uso destes proporciona, dissipando o calor no verão e mantendo-o no inverno (SCOTT-MACIVOR et al., 2016; PENG; JIM, 2013). Este benefício é obtido porque as plantas absorvem a energia luminosa para uso na fotossíntese, promovendo um microclima local a partir da transpiração vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Outro benefício do uso de telhados verdes é a diminuição do efeito ilha de calor urbano, em áreas bastante impermeabilizadas dos grandes centros urbanos (BESIR; CUCE, 2018). Os telhados verdes além disto também favorecem uma drenagem mais eficiente da água da chuva, bem como a filtragem dessa água e a diminuição da velocidade com que a água da chuva que seria depositada nas áreas impermeabilizadas causando enchentes (GREEN ROOF CODE, 2014).

Mais vantagens podem ser citadas como conforto acústico (YANG; KANG; CHOI, 2012), melhoria da qualidade do ar, atração de fauna, estética das construções, possibilidade de cultivo de hortas urbanas e perspectiva de

conservação de espécies nativas, com criação de pequenos ecossistemas. Os telhados verdes são considerados uma das soluções sustentáveis mais adequadas para resolver os problemas relacionados aos grandes centros urbanos (BESIR; CUCE, 2018; FRANCIS; JENSEN, 2017).

2.1 Características de substratos para telhados verdes

Um bom substrato para telhado verde deve ter uma composição que forneça as seguintes propriedades, de acordo com Green Roof Code (2014):

- Leve;
- Cobertura vegetal acima de 80%;
- Resistência à erosão do vento e da água;
- Livre de ervas daninhas, doenças e pragas;
- Boa ancoragem de plantas para reduzir o risco de perdas;
- Tendência apropriada de retenção/liberação de água para reter água suficiente para satisfazer as necessidades das plantas, e mesmo assim facilitando a permeabilidade;
- Boa aeração;
- Resistência à compactação, ou seja, baixas densidades de empacotamento, para evitar reposições frequentes de substrato;
- Fornecimento adequado de nutrientes.

2.2 Materiais passíveis de utilização em substratos para uso em telhados verdes extensivos

A alteração na composição dos componentes do substrato para telhado verde pode ter efeitos significativos sobre o desempenho fisiológico das plantas e o balanço hídrico (YOUNG et al., 2014). O elevado conteúdo de nutrientes proveniente do aumento da fração orgânica nos substratos para telhado verde melhora o desenvolvimento do substrato a longo prazo devido a uma maior acumulação de

biomassa morta, o que também previne a lixiviação de nutrientes para fora do sistema de telhado verde (YOUNG et al., 2014).

A densidade dos substratos expressa a relação entre a massa e o seu volume, sendo uma característica ligada à carga que o sistema irá suportar, portanto merece especial atenção principalmente no que diz respeito à densidade úmida, a qual tem relação com o peso durante as precipitações (GRACESON et al., 2014). Segundo Kampf (2005), de maneira geral, valores entre 400 e 500 kg/m³ são considerados adequados para o cultivo em recipientes, porém em telhados verdes não são observadas as mesmas condições, pois a área de cultivo em relação à extensão é maior, tendo semelhança apenas no que diz respeito à espessura de substrato.

Porosidade total é a característica relacionada com o espaço ocupado por poros, que podem ser preenchidos com água ou ar, sendo, portanto responsável pela retenção de água e aeração do substrato. Valores acima de 85% são recomendados pela literatura, também para cultivo em vasos (SCHAFER et al., 2015). Capacidade de retenção de água corresponde ao volume máximo de água retida no substrato, após a saturação hídrica e drenagem natural. Água disponível é importante na medida em que fornece dados sobre o volume de água disponível às plantas. Quanto mais água facilmente disponível, menos gasto energético para as plantas, ou seja, o aproveitamento reflete em melhores desenvolvimentos fisiológicos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Dessa maneira, fica evidente a necessidade de especificar substratos ideais para telhados verdes extensivos, com qualidade física e química adequadas ao desenvolvimento das espécies, tornando a manutenção facilitada de maneira a evitar reposições constantes de substrato, fertilizações frequentes e irrigações desnecessárias (YOUNG et al., 2014). Os materiais utilizados como substratos para proporcionar as propriedades físicas e químicas, citadas por Kampf (2005), são areia, argila expandida fina, casca de arroz carbonizada, casca de pinus decomposta, serragem, esterco curtido, fibra de coco, húmus, turfa e vermiculita.

A seguir estão relacionados os materiais selecionados para uso nessa pesquisa, bem como algumas características importantes para utilização em telhados verdes extensivos.

2.2.1 Areia

A areia é a fração da partícula sólida mineral do solo com diâmetro compreendido entre 0,05 e 2 mm de acordo com o United States Department of Agriculture (USDA), citado por Prevedello e Armindo (2015). A densidade da areia varia entre 1.350 e 1.800 kg/m³, e a porosidade em geral é inferior a 50% (SODRÉ et al., 2007). O uso da areia na composição de substratos possui algumas vantagens, como o baixo custo, fácil disponibilidade, estabilidade física, inatividade química e principalmente por permitir boa drenagem (PAULUS; PAULUS, 2007; SODRÉ et al., 2007).

Porém, quando na composição de substratos, a areia possui desvantagens em relação à sua alta densidade, o que dificulta o manejo, e baixa retenção de água entre suas partículas. Além disso, a areia é pobre em nutrientes (PAULUS; PAULUS, 2007).

De acordo com Sodré et al. (2007), para a preparação de substratos contendo areia, é necessário especificar a granulometria utilizada, pois os seus diferentes tamanhos irão modificar a porosidade e a retenção de água do substrato. Neste caso, recomenda-se uma granulometria entre 0,5 e 2 mm de areia quando usada na composição para substratos.

2.2.2 Argila expandida fina

É um produto granular obtido artificialmente pelo aquecimento da argila em fornos rotativos a 1.100°C. É um material de baixa densidade (entre 300 e 500 kg/ m^3) com alta porcentagem de espaço poroso e moderada capacidade de retenção de água (FERMINO; BELLÉ, 2008).

2.2.3 Casca de arroz carbonizada

O resíduo da indústria arrozeira é ainda um grande problema ambiental e o uso da casca de arroz carbonizada possibilita a destinação deste resíduo. A casca

de arroz carbonizada é um componente barato para a composição de substrato, o que reduz o custo de produção da muda (SOUZA et al., 2006).

É um material leve e inerte à hidratação (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004). Possui alta capacidade de drenagem e, portanto, baixa capacidade de retenção de água (SOUZA et al., 2006). A casca de arroz carbonizada possui baixa densidade, estando entre 150 a 250 kg/m³ (SOUZA et al., 2006). A casca de arroz carbonizada ainda possui pH levemente alcalino, boa disponibilidade de nutrientes, ausência de patógenos, além de não necessitar de tratamento químico para esterilização, devido à sua carbonização (PAULUS; PAULUS, 2007).

A casca de arroz carbonizada destaca-se pelo seu elevado espaço de aeração e por resistir à decomposição, mantendo a estabilidade do substrato (BOSA et al., 2003). O manejo da carbonização da casca de arroz deve ser realizado com cuidado, pois o processo é manual e, deste modo, as cascas são incineradas em proporções variáveis. Os grãos podem apresentar diferentes tamanhos e formatos em relação a cultivar de arroz. Isto pode gerar uma diferença na granulometria do material, o que consequentemente irá refletir em outras características físicas do substrato, como a porosidade e a capacidade de retenção de água (VIEIRA; PAULETTO, 2009).

2.2.4 Casca de pinus

Por suas características físicas como alta porosidade e baixa densidade, a casca de pinus é um material adequado para a utilização como substrato. Quanto menor a granulometria da casca de pinus, maior será a sua capacidade de retenção de água (MACHADO NETO et al., 2005).

2.2.5 Esterco de aves curtido

O esterco de aves é estabilizado biologicamente e pode trazer características interessantes quando incorporado ao substrato. O esterco de aves, quando bem curtido, apresenta-se bem farelado, escuro e frio, muito rico em nitrogênio e matéria orgânica (TRAZZI et al., 2012). A matéria orgânica é um componente fundamental dos substratos, pois propicia o aumento na capacidade de retenção de água,

redução na densidade e aumento da porosidade do meio (TRAZZI et al., 2012; GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

Além destes atributos, a matéria orgânica ainda permite o desenvolvimento de microrganismos benéficos, aumentando, deste modo, a disponibilidade de nutrientes às plantas, o pH e a capacidade catiônica. Contudo, estes benefícios dependem da quantidade e qualidade do produto utilizado (TRAZZI et al., 2012).

2.2.6 Fibra de coco

Esse material, de lenta decomposição, protege o solo reduzindo a evaporação, aumentando a retenção de umidade, protegendo e aumentando a atividade microbiana do solo e, consequentemente, criando as condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal (FERMINO; BELLÉ, 2008). A fibra pode ser utilizada como condicionador para elevar o espaço de aeração e a drenagem (FERMINO; BELLÉ, 2008).

2.2.7 Húmus

Esse substrato é um adubo orgânico formado a partir da transformação biológica de resíduos orgânicos. A utilização desse material fornece maior porosidade e água facilmente disponível (KAMPF, 2005). O material é rico em matéria orgânica, porém acarreta em maiores densidades na composição do substrato.

2.2.8 Serragem

A qualidade da serragem depende de vários fatores, como o tipo da madeira, o tempo e a condição de armazenamento, além do teor de tanino presente (SODRÉ et al., 2007). A serragem pode ser utilizada sem a necessidade de realizar a compostagem de acordo com o seu tempo de armazenamento, porém serragens, mesmo envelhecidas e naturalmente estabilizadas, podem apresentar fermentação ácida e prejudicar o crescimento das plantas (SODRÉ et al., 2007).

De acordo com Sodré et al. (2007), substratos que possuam alto percentual de serragem na sua composição podem apresentar problemas em relação à alta retenção de umidade. Portanto, se recomenda que sejam realizadas misturas com materiais de maior diâmetro e com menor capacidade de retenção de água, visando aumentar a drenagem e redução do acúmulo de água.

2.2.9 Turfa

A turfa é um material orgânico abundante nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SCHMITZ et al., 2002). Por apresentar excelentes características físicas como baixa densidade e água disponível, é consagrada internacionalmente como material orgânico na composição de substratos, sendo utilizada como padrão de comparação no estudo de novos materiais para substrato (SCHMITZ et al., 2002). Contudo, na Europa existe a preocupação em se desenvolver novos substratos a fim de substituir a utilização da turfa, pois se trata de um recurso natural não renovável (CARRIJO et al., 2004).

O uso da turfa como substrato tem sido ecologicamente questionado, uma vez que além de não ser um material renovável a curto prazo, exige custos adicionais de remoção e transporte, tornando-a um substrato caro (MENEZES JÚNIOR et al., 2000). Possui alta capacidade de retenção de água (SOUZA et al., 2006), menor espaço de areação, proporcionando maior sobrevivência, crescimento e qualidade da vegetação (BOSA et al., 2003). Esses componentes necessitam ser testados em composições adequadas a fim de verificar o estabelecimento da vegetação e aprimorar a qualidade física, química e de fertilidade.

2.2.10 Vermiculita

É um substrato de origem mineral formado pela superposição de finíssimas lamínulas de mica, quando submetido a altas temperaturas (cerca de 800°C), passa por grande expansão de até quinze vezes o seu volume original e apresenta pH entre 5,5 e 9,0 (FERMINO; BELLÉ, 2008).

A vermiculita tem alta capacidade de retenção de água, chegando a 5 vezes a capacidade de cada floco, bem como elevada capacidade de troca catiônica com

grande aptidão para a formação de complexos orgânicos e retenção de micronutrientes do substrato quando utilizada na produção de mudas (KAMPF, 2005; FERMINO; BELLÉ, 2008).

2.2.11 Micorrizas

Além desses componentes, supracitados, é possível incorporar fungos micorrízicos arbusculares no substrato, a fim de melhorar a absorção de água e nutrientes, principalmente fósforo. A habilidade das micorrizas de absorver e transportar fósforo está relacionada com a rede de hifas formada pelos fungos e que se estende por vários centímetros no solo (SOUZA et al., 2006).

A micorrização é uma associação benéfica entre fungos e raízes das plantas que ocorre naturalmente em 80% das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017). A rede de hifas que se forma no solo capacita as plantas para melhor sobrevivência e crescimento (SOUZA et al., 2006). A inoculação desses fungos em substratos para telhado verdes pode ser uma ferramenta valiosa e muito importante no cultivo das espécies (YOUNG; CAMERON; PHOENIX, 2015). A rede de hifas das micorrizas se instala nas raízes das plantas aumentando o poder de absorção de água e nutrientes minerais (SOUZA et al., 2006).

2.3 Escolha das espécies

A incidência de vento, estresse hídrico e radiação solar intensa em telhados verdes extensivos promovem estresses fisiológicos e exigem rusticidade da vegetação dificultando o metabolismo vegetal. Assim deve-se optar pelas espécies com fisiologia C4 e CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), mais eficientes no uso da água e tolerantes a estresses hídricos (TAIZ; ZEIGER, 2017). Além disto, a escolha da espécie deve considerar a rusticidade e adaptação da planta (BLANUSA et al., 2013). As plantas herbáceas perenes, normalmente utilizadas como forração, que necessitam de 10 a 15 cm de substrato, são as mais indicadas (ROOF GREENING GUIDELINE, 2010).

Espécies CAM (metabolismo ácido das crassuláceas) são adequadas e intensamente cultivadas em telhados verdes extensivos, além de apresentarem pequeno porte e raízes pouco profundas, oferecem boa cobertura vegetal e proteção da superfície do telhado. Estas plantas requerem manutenção mínima e são fáceis de instalar em sistemas de telhado verde (CASTLETON et al., 2010; LI; YEUNG, 2014).

As espécies vegetais necessitam ter resistência e adaptação ao meio onde serão inseridas, além de propiciar boa cobertura nos telhados verdes extensivos (FARZANEH, et al., 2005). Desse modo as herbáceas perenes, e, sobretudo as crassuláceas, se encaixam perfeitamente (BUTLER; ORIANS, 2011). As espécies utilizadas no telhado verde devem ser tolerantes à substratos que conservem a umidade apenas por curto período (BARRA, 2006).

Um fator importante quando se avalia o desempenho da planta no telhado verde é o período de tempo que o estudo é realizado (GRACESON et al., 2013). Assim, evitam-se conclusões prematuras e recomendações equivocadas. Plantas que inicialmente sobrevivem podem, eventualmente, ter sua cobertura vegetal reduzida ou desaparecer completamente, devido à concorrência, a variabilidade do clima, e outros fatores (ROWE et al., 2012). Esses fatores devem ser considerados durante a fase de concepção e planejamento de um telhado verde extensivo, por ser um cultivo com baixa manutenção e necessidade de cobertura vegetal plena, acima de 80% (BEVILACQUA et al., 2015; ROOF GREENING GUIDELINE, 2010).

A seleção de plantas a serem utilizadas em telhados verdes depende também do clima da região, tipo de substrato e da altura da vegetação final desejada (SPALA et al., 2008). Para a redução eficiente dos fluxos de calor no verão para o interior da edificação são recomendadas plantas com muitas folhas, preferencialmente horizontais (FERRAZ; LEITE, 2011).

Além da tolerância à seca, a tolerância à radiação solar também deve ser considerada na escolha da vegetação, pois a maior parte dos telhados verdes são expostos à radiação solar intensa. Por outro lado, alguns telhados podem ser sombreados por edifícios próximos. Existem plantas que não são favoráveis à radiação solar intensa, enquanto outras são capazes de resistir a ela (LI; YEUNG, 2014).

2.3.1 Critérios para a escolha da vegetação

Os principais fatores na especificação da vegetação devem focar, primeiramente, no objetivo do telhado verde. Assim, se existe a necessidade de melhorar a retenção de águas pluviais, são indicadas espécies de metabolismo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), as quais apresentam maior eficiência no uso da água (GROWING GREEN GUIDE, 2014). Enquanto que um telhado biodiverso pode exigir uma composição de espécies nativas, visando a criação de pequenos ecossistemas (GREEN ROOF CODE, 2014).

A arquitetura das plantas, o tamanho das folhas, forma e cobertura vegetal, e fisiologia, como intensidade de transpiração, afetarão a tolerância à seca, ao vento, à luz, à sombra e aos poluentes (GROWING GREEN GUIDE, 2014). Incidência de geada e flutuações na temperatura e precipitação devem ser considerados na escolha da vegetação (GREEN ROOF CODE, 2014).

Outro critério para seleção de espécies é a disponibilidade das plantas nos viveiros da região. Isto tem maior impacto na elaboração dos telhados biodiversos, onde se preconiza o uso de plantas nativas (BUTLER; BUTLER; ORIANS, 2012), pois na região Sul do Brasil existem dificuldades de encontrar plantas nativas para comercialização nos viveiros (NOYA et al., 2014).

2.3.2 Espécies com potencial de utilização em telhados verdes extensivos

***Sedum acre* Lineu**

O *Sedum* é uma planta suculenta perene, resistente a seca com metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), cujos estômatos abrem durante à noite para permitir

a entrada de CO_2, e fecham durante o dia para evitar a perda de água por transpiração (LI; YEUNG, 2014: TAIZ; ZEIGER, 2017).

O teor de umidade do substrato influencia a seleção de espécies de plantas a ser utilizada em telhados verdes. O maior problema em climas secos é a taxa de perda de água da vegetação a partir do substrato. Neste contexto, espécies do gênero *Sedum* tolerantes à seca (Crassulaceae) são as mais indicadas para telhados verdes extensivos (BLANUSA et al., 2013; BLANK et al., 2013; ROWE, GETTER, DURHMAN, 2012; BUTLER; ORIANS, 2011).

***Arachis repens* Handro**

Pertencente à Fabaceae, a grama amendoim é uma planta herbácea rasteira, perene e nativa do Brasil, atingindo 10 a 20 cm de altura, com ramagem prostrada e fina (LORENZI, 2013). É uma planta indicada para telhados verdes e comercializada por empresas brasileiras como Ecotelhado®, Skygarden® e Instituto Cidade Jardim® (ECOTELHADO, 2017; SKYGARDEN, 2018; INSTITUTO CIDADE JARDIM, 2017).

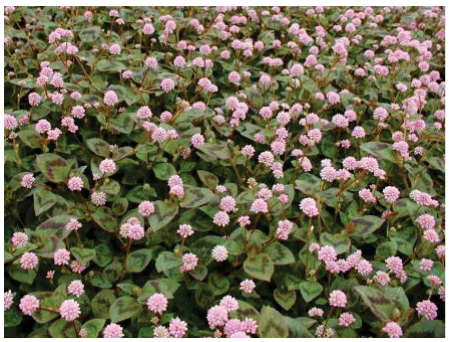
Espécie resistente ao sol e à substratos de moderada fertilidade, tolerante à acidez do substrato (pH em torno de 5) e à alta saturação de alumínio (75%) (BEATRICE, 2011).

Essa espécie não requer manutenção frequente e possui baixo custo (FERRAZ; LEITE, 2011). Outra característica interessante da grama amendoim é a sobrevivência em substratos bem drenados em condições normais de plantio. Porém, esta espécie também tolera condições de má drenagem e encharcamento temporário (BEATRICE, 2011).

***Callisia repens* (Jacq.) L.**

Conhecida como dinheiro em penca, é uma planta herbácea perene reptante, quando cresce paralelamente à superfície do solo. Nativa da América Tropical atinge em média 5 a 10 cm de altura. Considerada como planta espontânea em terrenos vazios nas áreas urbanas, em regiões onde a temperatura é amena (STUMPF, 2018). Pertencente à Commelinaceae é frequentemente utilizada como forração (LORENZI, 2013). Algumas empresas brasileiras recomendam e comercializam *C. repens* para uso em telhados verdes extensivos, como Instituto Cidade Jardim® e Ecotelhado® (INSTITUTO CIDADE JARDIM, 2017; ECOTELHADO, 2017).

***Polygonum capitatum* Ham. ex D. Don**



P. capitatum pertence à Polygonaceae e é muito resistente ao pleno sol e tolera meia-sombra (LORENZI, 2013). Ela é uma herbácea perene, reptante, originária da Índia, de 15 a 20 cm de altura. As inflorescências do tapete inglês são formadas o ano todo. Aprecia baixas temperaturas. Costuma aparecer

espontaneamente em fendas de muros, paredes e pisos, por semeadura espontânea (LORENZI, 2013). Não foram encontrados registros de indicação dessa espécie, porém sua resistência às baixas temperaturas e espontaneidade (LORENZI, 2013) sugerem seu uso e constantes pesquisas.

***Festuca arundinacea* Schreb.**

Essa Poaceae apresenta de 50 a 1,70 cm de altura, é perene, cespitosa de rizomas curtos e sistema radicular profundo. Ocorre naturalmente na região Sul (Rio Grande do Sul e Santa Catarina) (ESSI; SILVA, 2018). As suas folhas apresentam cor verde-escuro, brilhante, com nervuras destacadas e bordas ásperas. A lâmina foliar possui de 5 a 9 mm de largura. A inflorescência da Festuca é uma panícula, com 15 a 30 cm de comprimento, com numerosos ramos e espiguetas largas (FONTANELI et al., 2009).

Resistência ao frio e geadas (CARVALHO et al., 2010), torna-a apta para o cultivo em telhados verdes em regiões subtropicais. Além de ser recomendada para plantio em consórcios com leguminosas, como pastagem perene de inverno (CARVALHO et al., 2010). Embora seja preconizado o uso de gramíneas em telhados verdes extensivos (GREEN ROOF CODE, 2014) e de plantas nativas em telhados biodiversos (BUTLER; BUTLER; ORIANS, 2012) recomendações de uso de *F. arundinacea* não foram encontradas até a presente data.

***Aptenia cordifolia* Schwantes**

Planta suculenta da família Aizoaceae, nativa da África, com 10 a 15 cm de altura, promove um denso tapete. A rosinha de sol é tolerante a climas frios e déficit hídrico (LORENZI, 2013). Suas flores são formadas durante o ano todo, o que possibilita a atração de polinizadores como abelhas para o local de cultivo (LORENZI, 2013). Espécie perene indicada para telhados verdes, comercializada juntamente com estacas de outras espécies suculentas (INSTITUTO CIDADE JARDIM, 2017).

***Echeveria elegans* Rose**

Herbácea perene suculenta Crassulaceae, conhecida como bola de neve, com 15 a 20 cm de altura, nativa do México, porém com tolerância a baixas temperaturas de inverno (LORENZI, 2013). Como sua multiplicação ocorre por enraizamento das folhas e também por brotação em torno das plantas (LORENZI, 2013), ocorre cobertura vegetal do telhado verde ao longo do ano.

A espécie apresenta-se como opção para telhados verdes extensivos em Growing Green Guide (2014), por enquadrar-se no padrão de metabolismo CAM e apresentar pouco crescimento radicular.

***Gazania rigens* Gaertn.**

Herbácea perene, nativa da África do Sul, atinge de 15 a 20 cm de altura (LORENZI, 2013). Ela floresce abundantemente, como todas as Asteraceae, e prefere climas amenos como os da região Sul do Brasil (LORENZI, 2013).

A espécie não tem indicações para cultivo em telhados verdes, mas atende aos critérios estabelecidos para escolha da vegetação (GROWING GREEN GUIDE, 2014), além dos aspectos estéticos de sua floração.

***Lysimachia congestiflora* Hemsl.**

Planta herbácea reptante, nativa da China, muito ramificada com 5 a 7 cm de altura e cobertura do substrato com grande volume, pertencente à Primulaceae, apresenta inflorescências durante quase o ano todo (LORENZI, 2013).

Essa espécie encontra-se na categoria de plantas herbáceas perenes, com raízes pouco profundas, porém persistentes e adaptam-se ao cultivo em telhados verdes extensivos (GROWING GREEN GUIDE, 2014). No entanto, não foram encontradas recomendações da lisimáquia nos principais guias de telhados verdes disponíveis.

***Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker Gawl.**

Essa espécie é herbácea estolonífera, natural da China e Japão, com 20 a 30 cm de altura, e pertence à Liliaceae (LORENZI, 213). É uma forração que tolera tanto ambiente com pleno sol quanto meia sombra, não requer podas de manutenção.

A grama preta é indicada como espécie herbácea perene para uso em telhados verdes extensivos (GROWING GREEN GUIDE, 2014).

***Osteospermum ecklonis* (DC.) Norl.**

A margarida do cabo é uma Asteraceae, originária da África do Sul. Atinge entre 0,50 a 0,80 m de altura, sendo uma herbácea rizomatosa entouceirada que resiste o frio (LORENZI, 2013). Suas flores são formadas na primavera até o início do outono.

Assim como outras espécies da mesma família, tem potencial para telhados verdes por ser perene a apresentar raízes persistentes, além da floração que pode ser um apelo estético dos telhados verdes (GROWING GREEN GUIDE, 2014).

***Oxalis vulcanicola* (Donn.Sm.) Lourteig**

Herbácea Oxalidaceae, reptante, bulbosa e estolonífera, originária da Costa Rica e Panamá, atinge 15 a 20 cm de altura e apresenta muitas flores formadas na primavera verão (LORENZI, 2013). O trevo amarelo tolera baixas temperaturas e floresce mais intensamente em regiões de altitude.

Espécies bulbosas são outro grupo de plantas perenes herbáceas que pode ser extremamente útil, particularmente para interesse sazonal e exibição, tornando-os sobretudo adequadas ao cultivo durante os meses mais quentes do ano (GROWING GREEN CODE, 2014).

***Zephirantes candida* (Lindl.) Herb.**

Essa herbácea perene que pertence à Amaryllidaceae é bulbosa e originária da Argentina, atingindo de 20 a 30 cm de altura, floresce durante a primavera e verão (LORENZI, 2013). O efeito decorativo do lírio dos ventos proporciona conjuntos densos e é apropriado para climas frios, onde demonstra maior potencial de florescimento e desenvolvimento (LORENZI, 2013).

Não foi encontrada indicação desta espécie para telhados verdes (GREEN ROOF CODE, 2014), porém ela mostra-se com potencial pelo fato de ser bulbosa, resistindo em períodos de seca, e com tolerância ao frio.

REFERÊNCIAS

BARRA, E. **Paisagens úteis**: escritos sobre paisagismo. São Paulo: SENAC, 2006. 139 p. il.

BEATRICE, C. C. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. Tese (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Carlos - SP.

BERARDI, U; GHAFFARIANHOSEINI, A. H.; GHAFFARIANHOSEINI*, A*. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, p. 411-428, 2014.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 1, p. 915-939, 2018.

BEVILACQUA P.; COMA, J.; PEREZ, G; CHOCARRO, C.; JUÁREZ, A.; SOLÉ, C.; DE SIMONE, M.; CABEZA, L. F. Plant cover and floristic composition effect on thermal behavior of extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 305-316, 2015.

BLANK, L.; VASL, A.; LEVY, S.; GRANT, G.; KADAS, G.; DAFNI, A.; BLAUSTEIN, L. Directions in green roof research: A bibliometric study. **Building and Environment**, v. 66, p. 23-28, 2013.

BLANUSA, T.; MONTEIRO, M. M. V.; FANTOZZI, F.; VYSINI, E.; LI, Y.; CAMERON, R. W. F. Alternatives to *Sedum* on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? **Building and Environment**, v. 59, p. 99-106, 2013.

BOSA, N.; CALVETE, E. O.; KLEIN, V. A.; SUZIN, M. Crescimento de mudas de gipsófila em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 514-519, 2003.

BRASIL, Decreto n. 1.703, de 30 nov. de 2011. **Dispõe sobre a instalação do denominado "Telhado Verde" e dá outras providências**, Brasília, novembro, 2011. Disponível em < http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=49931D7F3F902F6D01E7721F9C1917C0.proposicoesWeb1?codteor=893728&filename=PL+1703/2011>. Acesso em: 20 mai 2016.

BUTLER, C.; BUTLER, E.; ORIANS, C. M. Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, p. 1-10, 2012.

BUTLER, C.; ORIANS, C. M. *Sedum* cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 11, p. 1796-1803, 2011**.**

CARRIJO, O. A.; VIDAL, M. C.; REIS, N. V.; SOUZA, R. B.; MAKISHIMA, N. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casa de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, p. 5-9, 2004.

CARVALHO, P. C. F.; SANTOS, D. T.; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A.; NABINGER, C. **Forrageiras de clima temperado**. *In*: Dilermando Fonseca de Miranda; Janaína Azevedo Martuscello. (Org.). Plantas Forrageiras. Viçosa: UFV, 2010, v. 1, p. 494-537.

CASTLETON, H. F.; STOVIN, V.; BECK, S.B; DAVISON, J. B. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and Buildings**, v. 42, p.1582–1591, 2010.

ECOTELHADO. **Plantas para ecotelhado**. Disponível em < https://ecotelhado.com/produto/ecotelhado-telhado-verde/plantas-2/>. Acesso em: 08 nov. 2017.

ESSI, L.; SILVA, L.N. *Festuca in* **Flora do Brasil 2020 em construção.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB104990>. Acesso em: 10 jan. 2018.

FARZANEH, R.; JARRETT, A.; BERGHAGE, R. D.; BEATTIE, D. J. Evapotranspiration rates from extensive green roof plant species. *In*: Annual International Meeting Sponsored (ASABE), Florida, Estados Unidos, 2005.

FERMINO, M. H.; BELLÉ, S. **Substrato para plantas**. In: PETRY, C. Plantas ornamentais: aspectos para a produção. 2 ed. rev. e ampl. – Passo Fundo – RS, 2008.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B. C. **Amendoim no telhado**: O comportamento da grama amendoim (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva. VI Encontro Nacional e IV

Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Vitória – ES - BRASIL - 7 a 9 de setembro de 2011.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R. S. (Eds.) **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta nas região sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

FRANCIS, L. F. M.; JENSEN, M. B. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 28, p. 167-176, 2017.

GRACESON, A.; HARE, M.; MONAGHAN, J.; HALL, N. The water retention capabilities of growing media for green roofs. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 328–334, 2013.

GRACESON, A.; MONAGHAN, J.; HALL, N.; HARE, M. Plant growth responses to different growing media for green roofs. **Ecological Engineering**, v. 69, p. 196–200, 2014.

GREEN ROOF CODE. **The GRO green roof code**: Green Roof Code of Best Practice for the UK. 2 ed. Sheffield: Groundwork Sheffield, 2014. 28p.

GROWING GREEN GUIDE. **A guide to green roofs, walls and facades**, In Melbourne and Victoria, Australia. National Library of Australia Cataloguing in Publication data, 2014. 131 p.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p.1069-1076, 2004.

IGRA. International Green Roof Association. **Green Roof Types**. Disponível em: < http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em 02 dez. 2017.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. **Produtos para telhado verde**. Disponível em: < http://www.studiocidadejardim.com.br/produtos-para-telhado-verde>. Acesso em 08 nov. 2017.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2005. p. 45-72.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 127-134, 2014.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil**. 4ª ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2013.

MACHADO NETO, N. B.; CUSTODIO, C. C.'CARVALHO, P. R.; YAMAMOTO, N. L.; CACCIOLARI, C. Casca de pinus: avaliação da capacidade de retenção de água e fitotoxicidade. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n.1, p. 19-24, 2005.

MENEZES JUNIOR, F. O.; FERNANDES, H. S.; MAUCH, C. R.; SILVA, J. B. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido**. Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 164-170, 2000.

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; ARMINDO, R. A.; SOUZA, J. L. M. Cultivo de *Stenachaenium megapotamicum* em diferentes regimes de irrigação. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 79-84, 2014.

PAULUS, D.; PAULUS, E. Efeito de substratos agrícolas na produção de mudas de hortelã propagadas por estaquia. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 594-597, 2007.

PENG, L.L., JIM, C.Y., Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. **Energies**, v. 6, p. 598-618, 2013.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2 ed. Revisada e ampliada. Curitiba: C. L. Prevedello, 2015. 474 p.

RECIFE, Decreto n. 18.112/2015, de 12 de jan. de 2015. **Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências**. Recife, janeiro de 2015. Disponível em: < https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>. Acesso em: 03 dez. 2017.

RIO GRANDE DO SUL, Decreto n. 734, de 24 de jan. de 2014. **Uso de telhado verde sobre lajes e demais coberturas do último pavimento de edificações.** Porto Alegre, janeiro de 2014. Disponível em: < http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nphbrs?s1=000033871.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>. Acesso em: 03 dez. 2017.

ROOF-GREENING GUIDELINE. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. FLL, download edition, Bonn, January 2010.

ROWE, D. B.; GETTER, K. L.; DURHMAN, A. K. Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. **Landscape and Urban Planning**, v. 104, p. 310-319, 2012.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2010. **Dispõe sobre a implementação de sistemas de naturação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina**. ALESC/Coord. Documentação Procedência: Dep. Professor Grando. Florianópolis, Natureza: PL. 170/07 DO: 18.265 de 11 dez. 2010.

SÃO PAULO. Projeto de Lei 01-0622/2008 do Vereador NATALINI (PSDB). **Dispõe sobre a concessão de isenção parcial de impostos predial e territorial urbano - IPTU - incidentes sobre imóveis que sejam construídos ou adaptados com as medidas de proteção ambiental que especifica, institui o programa "edificação ecológica", e dá outras providências**. Disponível em: www.natalini.com.br/arquivos/projetosdelei/PL0622-2008.pdf Acesso em: 27 set. 2015.

SCHAFER, G.; SOUZA, P. V. D.; FIOR, C. S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n.3, p. 299-306, 2015.

SCHMITZ, J. A.; SOUZA, P. V.; KAMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.

SCOTT-MACIVOR, J.; MARGOLIS, L.; PEROTTO, M.; DRAKE, J. A. P. Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 36-42, 2016.

SKYGARDEN. **Opções de plantas** – Telhados verdes. Disponível em: < http://www.skygarden.com.br/index.php/telhados-verdes/opcoes-de-plantas>. Acesso em: 21 jan. 2018.

SODRÉ, G. A.; CORÁ, J. E.; SOUZA JÚNIOR, J. O. Caracterização física de substratos à base de serragem e recipientes para crescimento de mudas de cacaueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 339-314, 2007.

SOUZA, P. V.; CARNIEL, E.; FOCHESATO, M. L. Efeito da composição do substrato no enraizamento de estacas de maracujazeiro azedo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 276-279, 2006.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SPALA, A.; BAGIORGAS, H. S.; ASSIMAKOPOULOS, M. N.; KALAVROUZIOLIS, J.; MATTHOPOULOS, D.; MIHALAKAKOU, G. On the green roof syxtem. Selection, state of the art and energy potencial investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. **Renewable Energy**, v. 33, n. 1, p. 173-177, 2008.

STUMPF, M. Dinheiro em penca (*Callisia repens*). Disponível em: < http://www.fazfacil.com.br/jardim/dinheiro-em-penca-callisia/>. Acesso em: 01 fev. 2018.

SUSCA, T.; GAFFIN, S. R.; DELL'OSSO, G. R. Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8-9, p. 2119-2126, 2011.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V.; COLOMBI, R.; PERONI, L.; GODINHO, T. O. Estercos de origem animal em substratos para a produção de mudas florestais: atributos físicos e químicos. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 455-462, 2012.

VIEIRA, M.; PAULETO, E. A. Avaliação de atributos físicos do substrato casca de arroz (*Oryza sativa* L.) carbonizada e tratada com polímeros hidrofílicos sintéticos. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 1-6, 2009.

YANG, H. S.; KANG, J.; CHOI, M. S. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building and Environment**, v. 50, p. 44-55, 2012.

YOUNG, T.; CAMERON, D. D.; PHOENIX, G. K. Using AMF inoculum to improve the nutritional status of *Prunela vulgaris* plants in green roof substrate during establishment. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, p. 959-967, 2015.

YOUNG, T.; CAMERON, D. D.; SORRILL, J.; EDWARDS, T.; PHOENIX, G. K. Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 3, p. 507-516, 2014.

ZINZI, M.; AGNOLI, S. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 66-76, 2012.

3. SUBSTRATES FOR CULTIVATING HERBACEOUS PERENNIAL PLANTS IN EXTENSIVE GREEN ROOFS

Ecological Engineering 102 (2017) 662–669

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecoleng

Review

Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs☆

Mariana Grassi Noya[a,*], Francine Lorena Cuquel[a], Gilmar Schafer[b], Robson André Armindo[c]

[a] Plant Science Department, Federal University of Parana, Rua dos Funcionários, 1540 Curitiba, Paraná, Brazil
[b] Horticulture and Forestry Department, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil
[c] Soil Physics, Hydraulics, Irrigation and Drainage, Federal University of Paraná, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:
Received 23 August 2016
Received in revised form 15 February 2017
Accepted 18 February 2017

Keywords:
Green cover
Manure
Sawdust
Green roof substrates

ABSTRACT

Substrate is one of the most important components in the cultivation of extensive green roofs. However, there is still a lack of information on the effect that components of the substrate have on vegetation growth. Also, most substrates used in the commercial production of ornamental plants have a density superior to the adequate for these cultivations. The local availability of materials and features such as porosity and water retention capacity are essential when choosing the composition of the substrate that will be used in a green roof. This study aims to develop and recommend substrates for extensive green roofs in the southern region of Brazil. Fifteen samples of substrates with different compositions were developed. Based on their physical and chemical properties, four samples were chosen and used for cultivating two plant species, *Sedum acre* Lineu and *Arachis repens* Handro, both perennial herbaceous plants recommended for this type of practice. The experiment was carried out at the Experimental Studies Center of the Federal University of Paraná – UFPR (latitude: 25°39′41″S, longitude: 49°11′41″W, altitude: 895 m), from November 2014 to November 2015. The cultivation was performed over physical modules with wooden structures similar to a conventional roof, covered with fiber cement tiles and with a 5% inclination. Photographs were taken every 15 days for the determination of degree of vegetation coverage. For both species, the substrates comprised of sawdust and poultry manure had a larger vegetation ground cover (GC) however, *S. acre* did not tolerate excessive rainfall, and therefore is not indicated for isolated usage (monoculture) in regions of subtropical climate. Nevertheless, this species reached almost 100% coverage in higher temperatures and during a longer period. *A. repens* had GC around 80% in rainy periods, thus is indicated for cultivation in such conditions.

© 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction 662
2. Material and methods 663
3. Results and discussion 664
   3.1. Analysis and choice of substrates before cultivation 664
   3.2. Development of plants and vegetation cover 666
4. Conclusions 668
   References 668

1. Introduction

Green roof technology has increasingly raised the interest of administrative sectors and of the society. This is mainly due to its benefits, which include minimizing problems related to soil sealing and the lack of green areas in urban centers, as well as

☆ This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

* Corresponding author.
E-mail address: contato@marianagrassi.com (M.G. Noya).

http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.042
0925-8574/© 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

reducing energy consumed in conditioning indoor air temperature (Castleton et al., 2010; Sun et al., 2013).

Extensive green roofs are structures with a thin layer of vegetation and substrate over the roof slab or coverage of buildings, and they enable pollution reduction and improvement of air quality, increase thermal comfort and acoustic insulation in indoor environments, mitigate urban heat islands and retain rainfall (Berndtsson, 2010; Bianchini and Hewage, 2012; Connely and Hodgson, 2015; Coma et al., 2016; Constanzo et al., 2016; MacIvor et al., 2016). Moreover, they favor the rescue of native flora and fauna (Blank et al., 2013; Oberndorfer et al., 2007) and the creation of small ecosystems.

The numerous direct and indirect positive aspects of the usage of green roofs evidence the economic and environmental importance of its large-scale deployment in urban environments (Oberndorfer et al., 2007; Jungels et al., 2013; Niemelä, 2014). However, scarce knowledge on the required construction and technical factors are obstacles to its development and application in Brazil. Most of the techniques and materials for green roofs were developed in other countries (Ampin et al., 2010; Young et al., 2014), where climatic conditions are distinct from those found in Brazil. In addition, most of the products used, including substrates, have high costs (Molineux et al., 2009).

The substrates used in green roofs are the basis of a successful development of the vegetation. The material should be lightweight, with porosity around 85% (Kämpf and Fermino, 2000), have high water retention capacity (Olly et al., 2011; Graceson et al., 2013), as well as be of low cost and easily obtained. The environmental aspect of the choice of substrate is another important social and economic factor, thus the material must be renewable and of low ecotoxicity (Kämpf, 2005). In order to meet the desired physical requirements, the porous medium should simultaneously enable good water retention capacity and aeration (Prevedello and Armindo, 2015). Therefore, assessing the physical structure of the substrate, based on properties such as density and porosity, is essential for cultivation on roofs, as it is a major determinant for the development of plants and for fully evaluating the roof's load bearing capacity. Packing density is another significant property, as it involves the effect of substrate compression over time (Kämpf, 2000).

Investigating the quality of substrates for green roofs is one of the most relevant factors (Young et al., 2014). New materials have been used in the composition of the substrates recently developed, however, they are different from the materials found in Brazil and have different physical properties from those found in subtropical climatic conditions (Kanechi et al., 2014; Molineux et al., 2015; Young et al., 2014). The inexistence of a universal substrate is due to the different climatic conditions and species that can be used (Ampin et al., 2010). In addition, the existing literature is focused on production for horticulture, which is different from cultivation on extensive green roofs as in the latter factors such low depth (Butler and Orians, 2011) and extreme water stress conditions must be taken into account.

Most substrates for green roofs listed in the Roof Greening Guideline (2006) are not available in Brazil. This indicates a need for the development of substrates composed of materials easily obtained and purchased in the region. These substrates should preferably be byproducts of industries, in order to mitigate the production of waste that, if not reused, becomes a potential environmental pollutant.

Easily found and commercialized materials such as poultry manure, available from the intensive poultry production in the South of Brazil, sawdust, pine bark and needles from timber crops, carbonized rice husk and humus have physical and chemical properties that can promote satisfactory conditions for plant growth (Kämpf, 2005). The plants used must be perennial, for both *Arachis repens* and *Sedum acre* were selected. *A. repens* is a native Brazilian herbaceous perennial plant, which belongs to the family Fabaceae and has a type C3 metabolism. When cultivated as ground cover under full sun intensity it reaches from 0.1 to 0.2 m height. It was selected for its rusticity and fast rooting, as well as for its symbiotic interaction with bacteria beneficial to development. *S. acre* has a type CAM metabolism, belongs to the family Crassulaceae and is native of Portugal. It has been widely used in green roofs in Europe, and has rapid adaptation and tolerance to drought periods, recurring in late summer and early fall.

Therefore, the aim of this study is to develop and recommend substrates for extensive green roofs in southern Brazil, evaluating them using herbaceous species suggested for this type of cultivation.

Table 1
Materials and their respective proportions used in the composition of the 15 substrates.

Substrate (samples)	Materials	Gravimetric ratio ($kg\,kg^{-1}$)
S1	Carbonized rice husk; sand; expanded clay (0.5–1 mm)	4:1.66:1
S2	Carbonized rice husk; shredded pine bark	1:1
S3	Carbonized rice husk; *Sphagnum* peat; vermiculite	1:1.33:1
S4	Carbonized rice husk; *Sphagnum* peat	1:1
S5	Poultry manure; sawdust	1:1
S6	Poultry manure; humus; bone meal; sand	4.5:3:1.5:1
S7	Poultry manure; *Sphagnum* peat; coniferous needles	1:1.33:1
S8	Humus; castor bean meal; vermiculite	1.33:1:1
S9	Humus; castor bean meal; sawdust; sand	3:3:3:1
S10	*Sphagnum* peat; perlite	1:1
S11	*Sphagnum* peat; vermiculite	1:1
S12	*Sphagnum* peat; sand; vermiculite	2:1:2
S13	*Sphagnum* peat; sawdust; coconut fiber	1.33:1:1
S14	*Sphagnum* peat; perlite; vermiculite	1.33:1:1
S15	Commercial substrate for horticulture	1

2. Material and methods

This study was carried out at the Experimental Studies Center of the Federal University of Paraná – UFPR (latitude: 25°39′41″S, longitude: 49°11′41″W, altitude: 895 m), from November 2014 to November 2015. The local climate, following the Köppen classification, is the Cfb, with frequent frosts (IAPAR, 2016).

During the first work stage, 15 substrate compositions were developed and their physical and chemical properties were analyzed. The materials and their respective proportions used in the composition of the various substrates are in Table 1.

For the preparation of the substrates, the materials were separated, weighed and packed in low density polyethylene bags with 2.5 L capacity. Then, the samples were sent to the Laboratory of Substrates for Plants at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) for physical and chemical analysis. The following physical properties were analyzed: wet density (ρ_w), dry density (ρ_d), substrate water content (θ), total porosity (α), air-filled porosity (α_{air}), readily available water (RAW), buffering capacity water (BCW) and remaining water (RW); the chemicals properties were: potential of Hydrogen (pH), electrical conductivity (EC) and total dissolved salts (TDS). Density was determined using the Auto compact method

(Hoffmann, 1970). Substrate water retention curves (SWRC) at 0; 10; 50 and 100 hPa were determined according to the principles of De Boodt and Verdonck (1972). Chemical analyzes were performed on a substrate dilution: water 1: 5 (v/v), according to IN No. 17, of May 21, 2007, which establishes methods for the analysis of plant substrates. All analyses were performed in triplicates for further analysis of the results (Brasil, 2007).

In the second stage, four substrates that best met the physical and chemical properties identified as ideal in the literature (Schaffer et al., 2015) were selected. For this, the main properties taken into account were RAW, BCW, α_{air} and density, since water absorption in plants used for RW fraction requires high energy consumption, discarding therefore substrates with high RW fractions. Thus, when with higher levels of RAW, BW, α_{air}, the required total porosity reaches values above 85%, ideal for a good substrate. Available water (AW) is the sum of readily available water (RAW) and buffering capacity water (BCW).

Eight prototypes of green roofs were built with a total height of 1.20 m and dimensions of 1.20 × 1.80 m. The roofs were covered with fiber cement tiles (6 mm) coated with high density polyethylene, and then with a layer of rigid expanded clay (20 mm) covered with geotextile fabric. These prototypes were kept outdoors, over a direct concrete foundation type *radier*. The size of each experimental unit (parcel) was 0.60 × 0.70 m. Before planting the substrates remained for 20 days discovered, and in that period the precipitation was on average 80 mm. In each parcel, 13 seedlings were planted with spacing of 0.10 m and the initial depth of the substrate was 0.10 m. Topdressing was held 3 months after planting, with castor cake (0.1 kg per parcel). The substrates were only wetted in the first 15 days.

The analyzed variables were degree of vegetation coverage, plant survival, substrate packing density and time spent to reach full vegetation coverage of the area. Photographs were taken every 15 days for the determination of degree of vegetation coverage, using a polyvinyl chloride tripod positioned on top of the structures. The photographs were analyzed using the software ImageJ®. To assess plant survival, the number of plants remaining at the end of the study was counted. Substrate packing density was measured with a graduated scale at the beginning and end of the study. Time spent to reach full vegetation coverage of the area in each parcel was calculated using the same photographs as in the determination of degree of vegetation coverage. The meteorological data used in the discussion of the results were collected at the Meteorological Station of the Meteorological System of Paraná (SIMEPAR), located approximately 0.5 km from the experiment.

After 12 months of cultivation, new samples were collected and their physical and chemical analysis where again carried out at the Laboratory of Substrates for Plants at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). These results were used in posterior comparisons. Substrates analysis were three times repeated in each evaluation.

The experiment was carried out in a completely randomized design. Each factorial combination (2 species × 4 substrates) was replicated six times, with a total of 48 experimental units. Values of degree of vegetation coverage were submitted to analysis of variance and Tukey's means test, at 5% significance level, using the software Assistat® version 7.7. Graphs were generated using the application Gnuplot version 5.0.

3. Results and discussion

3.1. Analysis and choice of substrates before cultivation

Results of the physical and chemical analysis of the substrates are summarized in Table 2. There was a wide variation among the materials analyzed, *e.g.* RAW varying more than 60% in S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay). This scenario reinforces the importance of knowing the materials properties before making the correct decision about the substrate that will be used (Kämpf, 2005).

Substrates with values similar to those referred to as ideal in the literature for the following features were chosen: low density (lightness), porosity around 85% (Kämpf and Fermino, 2000) and high water retention capacity (Olly et al., 2011; Graceson et al., 2013). The selected substrates were S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay), S2 (Carbonized rice husk and shredded pine bark), S4 (Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat) and S5 (Aged poultry manure and sawdust) (Table 2). The RAW value of S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay) was the highest among all substrate compositions, thus promoting the availability of water for plants without having high energy expenditure to consume it; α was around 85% and density was similar to the reference values for 200–300 kg m^{-3} for cultivation in 0.15 m depth (Kämpf, 2005). Electrical conductivity was within the usual range, except in S5, where an extreme salt level was found. In this case, salt leaching would be indicated as a mitigating measure (Schaffer et al., 2015).

The high pH values are related to the presence of some components such as vermiculite, carbonized rice husk, organic materials, expanded clay and sand. However, it is necessary to correct the pH using specific conditioners as elemental sulfur (Kämpf et al., 2009), for sensitivity to salt concentration varies according to the species and age of the plant (Kämpf and Fermino, 2000), and also to the type of culture. The accepted pH values for extensive green roofs range from 6.0 in 8.5, according to the Green Roof Code (2014), using organic materials. In S1 (pH = 10.34), it is possible that the combination of carbonized rice husk, sand and expanded clay favored a high pH level, since each of these components are naturally of a basic nature.

The EC results for substrates were quite different (Table 2), as they ranged from extremely low levels (Cavins et al., 2000) (*e.g.* S10) to the considered extreme levels (*e.g.* S5, S6 and S7). Even though substrate S5 (Aged poultry manure and sawdust) had such high values, the EC after cultivation (Table 3) can be considered low, indicating that the salts were leached and/or absorbed by the plant. Therefore, it would be necessary to supplement the fertilization as, with time, leaching and nutrients absorption will occur, maintenance practices resulting from cultivation in green roofs (Ampin et al., 2010).

Regarding the ρ_w and ρ_d values, important properties for the selection of substrates for extensive green roofs, oscillation in values was observed and, therefore, could not be assessed separately as a selection criteria. AW is a decisive factor for green roof substrates (Ampin et al., 2010), however, it is necessary to check it to define irrigation. In addition, lower densities are suitable for cultivation in trays (Fermino and Kämpf, 2012), which is a situation close enough to roofs, as in both situations less expensive support structures are required. The load allowed for extensive green roofs are between 60 and 150 kgf m^{-2} (IGRA, 2016).

AW is important for the species *A. repens*, a C3 plant, which requires a higher water retention capacity from the substrate. On the other hand, α_{air} is important for *S. acre*, which has a CAM metabolism, and therefore cannot tolerate the absence of aeration at its root system and has a high potential for survival in dry environments (lower AW values).

The substrate water retention capacity assists in indicating the need for irrigation (Schaffer et al., 2015). Thereby, substrates S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay), S2 (Carbonized rice husk; shredded pine bark), S4 (Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat) and S5 (Aged poultry manure and sawdust), which have high water retention capacity, might be recommended for usage without irrigation in places where distribution of rainfall frequency

Table 2
Physical-hydraulic and chemical properties of fifteen substrates for cultivation in extensive green roofs.

Sample		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
pH	H_2O	10.34	7.98	8.00	8.62	8.54	8.00	7.46	6.63	6.24	7.35	7.78	7.43	6.50	7.44	6.39
EC	$mS\,cm^{-1}$	0.56	0.35	0.14	0.27	1.94	5.16	1.12	0.81	0.99	0.02	0.04	0.04	0.05	0.03	0.84
ρ_W	$kg\,m^{-3}$	353.39	275.85	216.25	230.59	294.38	501.31	268.91	360.57	444.19	129.32	224.91	275.40	53.90	151.84	652.80
ρ_d	$kg\,m^{-3}$	341.66	218.97	168.80	175.25	240.02	337.51	183.92	239.66	316.60	101.02	167.34	212.77	41.06	121.31	292.14
CH	%	3.32	20.61	21.95	24.00	18.46	32.67	31.61	33.53	28.73	21.87	25.59	22.76	23.81	20.11	55.25
A	%	90.25	83.27	81.16	86.77	94.39	85.71	85.51	79.29	82.37	77.25	79.91	79.32	41.30	78.98	85.49
α_{air}	%	6.08	25.43	17.86	14.96	12.22	18.91	27.85	22.76	18.10	28.63	18.70	19.63	31.81	28.02	15.68
RAW	%	64.08	39.83	28.14	45.90	40.64	18.08	16.51	5.72	19.01	19.29	16.27	15.78	2.60	15.62	22.70
BCW	%	8.82	3.59	4.78	6.22	2.01	3.30	4.17	2.42	4.66	8.87	3.67	3.66	0.34	6.87	5.92
RW	%	11.27	14.42	30.38	19.69	39.52	45.42	36.98	48.39	40.60	20.45	41.27	40.26	6.55	28.47	41.19
$SWRC_{10}$	%	84.17	57.84	63.31	71.81	82.17	66.80	57.66	56.53	64.27	48.62	61.21	59.69	9.49	50.96	69.81
$SWRC_{50}$	%	20.10	18.01	35.16	25.91	41.53	48.71	41.15	50.81	45.26	29.33	44.94	43.92	6.89	35.34	47.11
$SWRC_{100}$	%	11.27	14.42	30.38	19.69	39.52	45.42	36.98	48.39	40.60	20.45	41.27	40.26	6.55	28.47	41.19
TDS	$g\,L^{-1}$	0.59	0.33	0.11	0.19	1.73	7.98	0.87	0.86	1.32	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	1.70

ρ_W: wet density; ρ_d: dry density; CH: current humidity; pH: determined in water, dilution 1:5 (v/v); EC: electric conductivity obtained in solution 1:5 (v/v); TDS: 1:10; α: total porosity; α_{air}: aeration space; RAW: readily available water; BCW: buffering capacity water; RW: remaining water; $SWRC_{10}$, $SWRC_{50}$, and $SWRC_{100}$: substrate water retention capacity under tension of 10, 50 and 100 hPa determined in volumetric basis.
S1: Carbonized rice husk, sand and expanded clay (0.5–1 mm); S2: Carbonized rice husk and shredded pine bark; S3: Carbonized rice husk, *Sphagnum* peat and vermiculite; S4: Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat; S5: Aged poultry manure and sawdust; S6: Aged poultry manure, humus, bone meal and sand; S7: Aged poultry manure, *Sphagnum* peat and coniferous needles; S8: Humus, castor beans meal and vermiculite; S9: Humus, castor beans meal, sawdust and sand; S10: *Sphagnum* peat and perlite; S11: *Sphagnum* peat and vermiculite; S12: *Sphagnum* peat, sand and vermiculite; S13: *Sphagnum* peat, sawdust and coconut fiber; S14: *Sphagnum* peat, perlite e vermiculite; S15: Commercial substrate for horticulture.

Table 3
Physical and chemical analyses of samples from substrates S1, S2, S4 and S5 after 12 months of cultivation in extensive green roofs with the species *Arachis repens* (E1) and *Sedum acre* (E2).

Sample		$S1E_1$	$S1E_2$	$S2E_1$	$S2E_2$	$S4E_1$	$S4E_2$	$S5E_1$	$S5E_2$
pH	H_2O	6.10	6.43	5.51	5.75	6.85	7.00	6.48	6.17
EC	$mS\,cm^{-1}$	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	0.10	0.15
ρ_w	$kg\,m^{-3}$	1064	1020	558	521	537	537	497	484
ρ_d	$kg\,m^{-3}$	753	719	220	207	157	165	165	197
CH	%	29.26	29.46	60.66	60.29	70.67	69.24	66.88	59.11
A	%	67.42	71.61	78.74	81.26	97.47	94.09	94.37	93.00
α_{air}	%	16.45	22.85	26.82	34.84	41.71	37.33	42.00	42.12
RAW	%	27.53	26.32	20.78	17.38	23.05	24.43	18.74	16.18
BCW	%	6.74	5.74	5.98	3.97	6.21	6.87	2.99	2.80
RW	%	16.70	16.70	25.16	25.08	26.50	25.46	30.64	31.88
$SWRC_{10}$	%	50.97	48.76	51.92	46.43	55.76	56.76	52.37	50.87
$SWRC_{50}$	%	23.44	22.44	31.14	29.05	32.71	32.33	33.63	34.69
$SWRC_{100}$	%	16.70	16.70	25.16	25.08	26.50	25.46	30.64	31.88
TDS	$g\,L^{-1}$	0.09	0.13	0.04	0.02	0.05	0.07	0.16	0.22

ρ_W: wet density; ρ_d: dry density; CH: current humidity; pH: determined in water, dilution 1:5 (v/v); EC: electric conductivity obtained in solution 1:5 (v/v); TDS: 1:10; α: total porosity; α_{air}: aeration space; RAW: readily available water; BCW: buffering capacity water; RW: remaining water; $SWRC_{10}$, SWR_{50}, and $SWRC_{100}$: substrate water retention capacity under tension of 10, 50 and 100 cm of water column determined in volumetric basis – v/v. S1: Carbonized rice husk, sand and expanded clay (0.5–1 mm); S2: Carbonized rice husk and shredded pine bark; S4: Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat; S5: Aged poultry manure and sawdust.

is favorable. The carbonized rice husk and sawdust contained in these compositions allow excellent drainage (Fermino and Bellé, 2008), as well as good aeration. The possibility of cultivating without irrigation cooperates with the development of environmentally friendly green roofs. However, as the AW of various substrates considered being of excellent density and fertility is not within the ideal values, their usage is not possible without irrigation.

In order to maintain the environmental benefits of extensive green roofs by saving water, the need for irrigation is not desirable in this system (Berreta et al., 2014). Nowadays, as periods of water deficit, high temperatures and extraordinary weather events are frequent, it is necessary to present sustainable sense in water use. Thereby, the substrate of limited thickness should also be able to retain rainwater as long as possible and make it available to the plants, also contributing to the minimization of the flood effects. The amount of air trapped within the pores of the porous medium (substrate) should provide enough aeration for the plant's roots (Cardoso et al., 2010), without diminishing the substrate's ability to hold water (Young et al., 2014). This demonstrates that it is possible for substrates S1, S2, S4 and S5 to provide the quality necessary for extensive cultivation in green roofs, as they possess the aforementioned characteristics.

RW content was above 30% in 9 of the 15 compositions (Table 2) and α_{air} was below 20% (reference values are between 20% and 30% according to Kämpf, 2005). This may impair drainage during periods of intense rainfall. In the region where the research was conducted, high rainfall intensities are frequent in October, November and December, according to SIMEPAR (2016).

Other negative factors found in the substrates of samples S6 to S9 were the high level of soluble salts (Table 2) and the low percentage of RAW, including in S10 (Table 2). The first factor may restrict the development of plants (Schaffer et al., 2015), whereas the second could be solved by using irrigation, which is, however, not recommended due to environmental reasons. Although substrates S11 and S12 had ideal porosity and density, however, low values of AW.

Substrate S13 is not recommended as it has low RAW and water retention capacity. Although it is the least dense of all substrates, this factor cannot be assessed as a sole criterion of choice. According to the Green Roof Code (2014), it is recommended that substrates for green roofs should be light. However, as its other physical properties are not within the recommended limits, the selection of substrate S13 would be an erroneous choice. Substrate 14 is also

Table 4
Degree of vegetation coverage in extensive green roofs cultivated with *Arachis repens* and *Sedum acre* using samples from substrates S1, S2, S4 and S5.

Substrates (materials used)	Coverage degree (%)	
	Arachis repens	*Sedum acre*
S1: rigid expanded clay, sand and carbonized rice husk	30.484 c	39.649 c*
S2: carbonized rice husk and shredded pine bark	34.074 c	37. 479 c
S4: *Sphagnum* peat and carbonized rice husk	41.152 b	48.721 b
S5: poultry manure and sawdust	49.561 a	67.621 a
CV (%)	41.9	37.9

* Means followed by the same letter in the column do not differ from each other, by Tuckey's mean test, at 5% significance level.

not recommended, as its AW value is only slightly over 22%, lower than the values found in the substrates chosen for this study.

Finally, the commercial substrate (S15) had a higher ρ_w, thus it is also not recommended for use in green roofs due to its excessive weight. Despite being available on the market for cultivation of ornamental plants, its ρ_w and ρ_d values are higher than in the other substrates and it is made specifically for usage in certain developmental stages in vases, which is not the case of extensive green roofs.

3.2. Development of plants and vegetation cover

The results of the chemical and physical analyses of the samples from substrates S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay), S2 (Carbonized rice husk; shredded pine bark), S4 (Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat) and S5 (Aged poultry manure and sawdust), after 12 months cultivating *A. repens* and *S. acre* on green roofs, are summarized in Table 3. The pH became more acidic as a result of the cultivation period and of the weather conditions, such as higher temperatures and frequent rainfall, at the time of sample collection. Leaching of nutrients through drainage caused acidity of the substrates.

CE levels were extremely low (Table 3), even in S5 (Aged poultry manure and sawdust) in which it was initially considered extreme. This may be explained by the fact that this substrate remained uncovered for 20 days before receiving the plants, what may have caused salt leaching. Thus, fertilizer supplementation would be recommended because of the reduced availability of nutrients.

In substrate S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay), comprised also of sand, there was an increase in density, reaching values above the recommended (Kämpf, 2005). Also, the surface coverage results for *A. repens* were inefficient (Table 4). On one hand, the low proportion of clay, which helps water retention, may have been responsible for the low water availability that inhibited growth of *A. repens*. On the other hand, the high proportion of sand increased macroporosity and raised drainage capacity. In samples from substrates S2, S4 and S5, respectively with pine bark (S2), peat (S4) and manure (S5) in their compositions, physical and chemical properties were within the normal range. Nevertheless, the degree of coverage of cultivated area for the species *A. repens* was low (Table 4), being that a great green coverage would be above 70% (Kanechi et al., 2014). Possibly materials such as sand and Pinus bark limited the absorption of water and nutrients, and therefore diminished plant development in unfavorable climatic conditions for each species.

The substrate with manure and sawdust (S5) had the highest value of coverage of cultivated area (Table 4). The manure as well as the sawdust provided the α required for the development of *S. acre*, as the substrates must not accumulate water (Olly et al., 2011; Graceson et al., 2013). This is relevant due to the fact that the high concentration of roots in green roofs requires a high oxygen supply and rapid removal of the formed carbon dioxide (Young et al., 2014).

In the early period of the experiment, covered areas were around 20% for *S. acre* and 25% for *A. repens* in all four sampled substrates (Fig. 1). After 2 months of cultivation, *A. repens* reached 80% of coverage in the substrate composed of manure and sawdust. The time required for area coverage was different among the substrates: 11 months to reach 64% coverage in S2 (Carbonized rice husk; shredded pine bark) and 4 months to cover 70% and 64% of the area in S4 (Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat) and S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay), respectively. These varied depending on the cycle of the species used and on the different compositions of substrates. As S1 is composed of expanded clay, sand and carbonized rice husk, it may not have been efficient in providing the nutrients necessary for the growth of the species. These elements only assist the physical properties of a substrate, in addition to a high pH value. On the other hand, substrate S4, comprised of peat, an organic material, had larger area coverage. Substrate S2 had low area coverage and RAW, which may have been a result of the combination of the latter component to excessive drainage, both efficient in this aspect.

S. acre, after 3 months of cultivation in substrate with manure, already had 100% of covered area (Fig. 1). The plant's vigor is related to the high content of organic material in the aged manure and the α of the combination. The use of sawdust in the combination raises the C/N ratio, making it more favorable. For the other substrates the time increased to 4 months, reaching a peak of 78% coverage in S4, 54% in S2 (Carbonized rice husk; shredded pine bark) and 60% in S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay).

Over the 12 months of cultivation, the area covered by each species had several changes due to climate conditions and differences in the compositions of the substrates. The species *A. repens* had its maximum growth from February to April (Fig. 2).

However, during a period of uneven distribution of rainfall and high temperatures (Fig. 3), including 21 days without precipitation, there was an abrupt decrease in coverage of the cultivated area. After the dry season, during favorable weather conditions, the plants resumed growth. Thereby, the native *A. repens* was resistant to drought and it may be used in extensive green roofs in subtropical climate zones.

S. acre, despite being one of the most cultivated species in green roofs in Europe, did not provide good coverage during the months with most precipitation and is not suitable for cultivation without being in consortium in subtropical climates. However, this species had almost 100% coverage when the temperature was high (Fig. 3) and also for a longer period (Fig. 4). During less rainy months coverage was high in the substrate containing manure with sawdust (S5). The high content of organic material in the manure with sawdust is a promising alternative for the composition of substrates for green roofs, as it is low cost and has high capacity of water retention. Allied to this, the fibers in sawdust contribute to nitrogen fixation, both components being indicated by other authors such as Kämpf (2005).

The decrease in the degree of *S. acre* coverage occurred in the period of higher and constant rainfall and lower temperatures (Fig. 3), proving once more the difficulty of cultivating this species in subtropical climate. These results indicate that the possibility of having a consortium of *S. acre* with other species tolerant to high rainfall should be evaluated, since the four substrates tested had good drainage (Table 3) and changing the substrate would not be a solution to this problem.

Packing density differed among the four substrates. After 12 months of cultivation, the combination of sand, clay and carbonized rice husk (S1) was reduced by 20 mm and compression was increased, as there was an increase of ρ_d in the study period. The reduction of the substrate composed of shredded pine bark

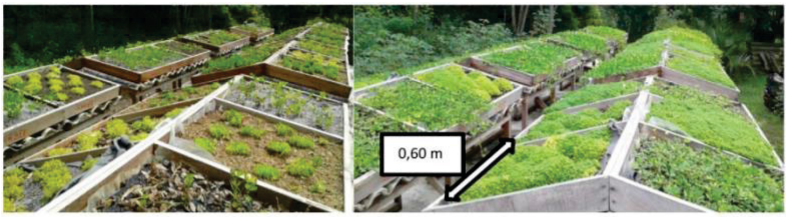


Fig. 1. View of the green roof prototypes with *Arachis repens* and *Sedum acre* cultivations, in Pinhais (PR). Beginning of the experiment (left) and 4 months after cropping (right). Photo: Mariana Grassi Noya (2015).

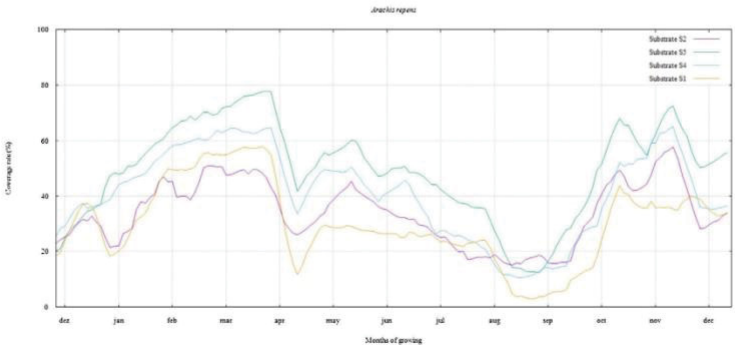


Fig. 2. Degree of vegetation coverage for *Arachis repens* over 12 months in extensive green roofs in the following substrates: S1: fine expanded clay, sand and carbonized rice husk (15%, 25% and 60%); S2: shredded pine bark and carbonized rice husk (50%, 50%); S4: *Sphagnum* peat and carbonized rice husk (50%, 50%) and S5: poultry manure and sawdust (50%, 50%).

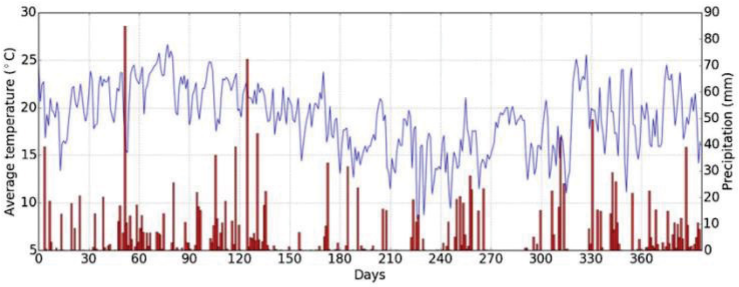


Fig. 3. Temperature and precipitation from November 2014 to November 2015, in Pinhais (PR).

and carbonized rice husk (S2) was of 40 mm, whereas reduction in S4 (peat) and S5 (manure with sawdust) were of 20 and 30 mm, respectively.

The absence of plant coverage can be related to the loss of substrate. And lower packing density was observed in situations of higher rates of coverage, which emphasizes the importance of full coverage. In order to establish relations between the degree of vegetation coverage and substrates, a Simple Correlation Analysis was carried out and positive correlations for *A. repens* and *S. acre* were found (Table 5).

Packing density in substrates for green roofs should be considered (Durhman et al., 2007; Rowe et al., 2012) due to the fact that, in addition to natural compaction, factors such as wind and low depth can further reduce physical quality. Also, superficial runoff on roofs where coverage degree is low can also provide a reduction of the porous material. The need for periodical maintenance should be small (Green Roof Code, 2014) and substrate replacement more spaced in time, therefore substrates with lower packing density are recommended.

The survival of *A. repens* in the substrate comprised of pine bark and carbonized rice husk was 60%. In the substrate with peat survival reached 58%, whereas in the one comprised of manure with sawdust, survival rate was of 70%. The occurrence of weeds in the empty spaces resulted from the mortality of *A. repens* was higher in the substrate containing manure, although it was not formally quantified. Further investigations focusing on the emergence of these species in different substrates are required, as diverse vegetation coverage is very important in urban green roofs (Oberndorfer et al., 2007). The opening of the empty spaces in the substrate containing manure was propitious for the development of spontaneous

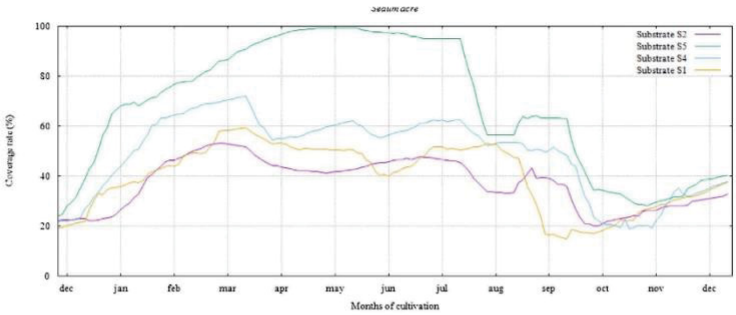


Fig. 4. Degree of vegetation coverage for *Sedum acre* over 12 months in extensive green roofs in the following substrates: S1: fine expanded clay, sand and carbonized rice husk (15%, 25% and 60%) S2: shredded pine bark and carbonized rice husk (50%, 50%); S4: *Sphagnum* peat and carbonized rice husk (50%, 50%) and S5: poultry manure and sawdust (50%, 50%).

Table 5
Pearson's linear correlation coefficient between vegetation coverage rate of the species *Arachis repens* and *Sedum acre* and substrates S1, S2, S4 and S5.

	Correlation coefficient (r)	Significance level
Correlation *Sedum acre*		
S1 × S2	0.7716	**
S1 × S4	0.7370	**
S1 × S5	0.5970	**
S2 × S4	0.8233	**
S2 × S5	0.6562	**
S4 × S5	0.7368	**
Correlation *Arachis repens*		
S1 × S2	0.7317	**
S1 × S4	0.7829	**
S1 × S5	0.7106	**
S2 × S4	0.8732	**
S2 × S5	0.7753	**
S4 × S5	0.8075	**

S1: Carbonized rice husk, sand and expanded clay (0.5–1 mm); S2: Carbonized rice husk and shredded pine bark; S4: Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat; S5: Poultry manure and sawdust.
** 1% significance level.

plants of the family Poaceae and phylum Bryophyta, suggesting the possibility of having a biodiverse green roof with native species and of creating small ecosystems (Green Roof Code, 2014). This was not observed with such intensity in other substrates, not even in cases of opening of empty spaces.

As the native species *A. repens* has regrowth capacity, it may be suitable for cultivation in consortium with native winter species of family the Poaceae, as these have hardiness and rapid establishment capacity, even in conditions of frost and water stress (Carvalho et al., 2010). The excellent area coverage of the weeds during the dormancy of *A. repens* is an important fact regarding biodiversity in the cultivation of green roofs in urban centers (Molineux et al., 2015), as it allows full vegetation cover.

S. acre survival rate was around 60% in the substrates S1 (Carbonized rice husk, sand and expanded clay), S2 (Carbonized rice husk; shredded pine bark) and S4 (Carbonized rice husk and *Sphagnum* peat). In the substrate with manure and sawdust survival reached 75% at the end of the study. Again, this substrate was propitious for the development of weeds, promoting green coverage. The higher vegetation coverage in S5 shows that organic material supply provides better conditions for the development of species (Kämpf, 2005).

Monoculture is not indicated for green roofs, as full vegetation coverage is needed. Cultivating a variety of species is essential (GSA, 2011), as climate variations and growing conditions affect each plant's development differently. Therefore, studies focusing on plant consortium behavior are fundamental and may provide the information required to increase the benefits of green roofs.

4. Conclusions

The best substrate for cultivation in extensive green roofs is comprised of aged poultry manure and sawdust in the ratio 1:1.

References

Ampin, P.A.Y., Sloan, J.J., Cabrera, R.I., Harp, D.A., Jaber, F.H., 2010. Green roof growing substrates: types, ingredients, composition and properties. J. Environ. Hortic. 28 (4), 244–252.
Berndtsson, J.C., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. Ecol. Eng. 36 (4), 351–360.
Berreta, C., Poe, S., Stovin, V., 2014. Reprint of "Moisture content behaviour in extensive green roofs during dry periods: the influence of vegetation and substrate characteristics". J. Hydrol. 516, 37–49.
Bianchini, F., Hewage, K., 2012. How "green" are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. Build. Environ. 48, 57–65.
Blank, L., Vasl, A., Levy, S., Grant, G., Kadas, G., Dafni, A., Blausten, L., 2013. Directions in green roof research: a bibliometric study. Build. Environ. 66, 23–28.
Brasil, 2007. Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. Diário Oficial da União, Brasília.
Butler, C., Orians, C.M., 2011. *Sedum* cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. Ecol. Eng. 37 (11), 1796–1803.
Cardoso, A.F., Charlo, H.C.O., Ito, L.A., Corá, J.E., Braz, L.T., 2010. Caracterização física do substrato reutilizado da fibra da casca de coco. Hortic. Bras. 28 (2), 385–392.
Carvalho, P.C.F., Santos, D.T., Gonçalves, E.N., Moraes, A., Nabinger, C., 2010. Forrageiras de Clima Temperado. In: Fonseca, D.M., Martuscello, J.A. (Org.), Plantas Forrageiras, Viçosa, UFV, 1, pp. 494–537.
Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B., 2010. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. Energy Build. 42, 1582–1591.
Cavins, T.J., Whipker, B.E., Fonteno, W.C., Harden, B., McCall, I., Gibson, J.L., 2000. Monitoring and Managing pH and EC Using the PourThru Extraction Method. Horticulture Information, Raleigh, pp. 17.
Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., Cabeza, L.F., 2016. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. Renew. Energy 85, 1106–1115.
Connely, M., Hodgson, M., 2015. Experimental investigation of the sound adsorption characteristics of vegetated roofs. Build. Environ. 92, 335–346.
Constanzo, V., Evola, G., Marletta, L., 2016. Energy saving in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. Energy Build. 114, 247–255.
De Boodt, M., Verdonck, O., 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Hortic. 26, 37–44.
Durhman, A.K., Rowe, D.B., Rugh, C.L., 2007. Effect of substrate depth on initial growth, coverage and survival of 25 succulent green roof plant taxa. Hortic. Sci. 42, 588–595.
Fermino, M.H., Bellé, S., 2008. Substrato para plantas. In: Plantas ornamentais: aspectos para a produção, 2 ed., Petry, C. (Org.). Passo Fundo (Ed.), Universidade de Passo Fundo, pp. 202.
Fermino, M.H., Kämpf, A.N., 2012. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. Hortic. Bras. 30 (1), 75–79.

Graceson, A., Hare, M., Monaghan, J., Hall, N., 2013. The water retention capabilities of growing media for green roofs. Ecol. Eng. 61, 328–334.
Green Roof Code, 2014. The GRO Green Roof Code: Green Roof Code of Best Practice for the UK, second ed. Groundwork Sheffield, Sheffield.
GSA – Green Roof Benefits Challenge, 2011. The Benefits and Challenges of Green Roofs on Public and Commercial Buildings. A Report of the United States General Services Administration152.
Hoffmann, G., 1970. Verbindliche methoden zur untersuchung von TKS und gartnerischen erden. Mitteilungen der VSLUFA [s.l.] 6, 129–153.
IAPAR, 2016. Instituto Agronômico do Paraná. Cartas Climáticas do Paraná. Available from: http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863 (accessed 06.01.16).
IGRA, 2016. International Green Roof Association. Available from: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php (accessed 06.07.16).
Jungels, J., Rakow, D.A., Allred, S.B., Skelly, S.M., 2013. Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. Landsc. Urban Plan. 117, 13–21.
Kämpf, A.N., 2000. Relação entre densidade de empacotamento e propriedades físicas de um substrato comercial, in: Segundo Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas – ENSub, Florianópolis. II ENSub – Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas, Programa e Resumos. Florianópolis, v. 1.
Kämpf, A.N., 2005. Substrato. In: Kämpf, A.N., Produção comercial de plantas ornamentais, 2ª ed., Guaíba, Agropecuária, pp. 45–72.
Kämpf, A.N., Fermino, M.H., 2000. Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Genesis, Porto Alegre.
Kämpf, A.N., Fior, C.S., Leonhardt, C., 2009. Lowering pH value with elemental sulfur in the substrate for ex vitro acclimatization. Acta Hortic. 812, 415–420.
Kanechi, M., Fujiwara, S., Shintani, N., Suzuki, T., Uno, Y., 2014. Performance of herbaceous *Evolvulus pilosus* on urban green roof in relation to substrate and irrigation. Urban For. Urban Green. 13 (1), 184–191.
MacIvor, J.S., Margolis, L., Perotto, M., Drake, J.A.P., 2016. Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. Ecol. Eng. 95, 36–42.
Molineux, C.J., Gange, A.C., Connop, S.P., Newport, D.J., 2015. Using recycled aggregates in green roof substrates for plant diversity. Ecol. Eng. 82, 596–604.
Molineux, C.J., Fendiman, C.H., Gange, A.C., 2009. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K. Ecol. Eng. 35, 1507–1513.
Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Kohler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B., 2007. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions and services. Bioscience 57 (10), 823–833.
Olly, L.M., Bates, A.J., Sadler, J.P., Mackay, R., 2011. An initial experimental assessment of the influence of substrate depth on floral assemblage for extensive green roofs. Urban For. Urban Green. 10, 311–316.
Niemelä, J., 2014. Ecology of urban green spaces: the way forward in answering major research questions. Landsc. Urban Plan. 125, 298–303.
Prevedello, C.L., Armindo, R.A., 2015. Física do solo com problemas resolvidos, 2nd ed. C. L. Prevedello, Curitiba.
Roof Greening Guideline, 2006 January. Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof Sites, download edition. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. – FLL, Bonn.
Rowe, D.B., Getter, K.L., Durhman, A.K., 2012. Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. Landsc. Urban Plan. 104, 310–319.
Schaffer, G., Souza, P.V.D., Fior, C.S., 2015. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. Ornam. Hortic. 21 (3), 299–306.
SIMEPAR, 2016. Sistema Meteorológico do Paraná. Available from: http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/meteorologia/clima_estacoes/arquivos/outono2016.pdf (accessed 16.01.16).
Sun, T., Bou-Zeid, E., Wang, Z.H., Zerba, E., Ni, G.H., 2013. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. Build. Environ. 60, 211–224.
Young, T., Cameron, D.D., Sorrill, J., Edwards, T., Phoenix, G.K., 2014. Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. Urban For. Urban Green. 13 (3), 507–516.

4. CONSÓRCIO DE *Festuca arundinacea* E *Arachis repens* CULTIVADAS EM TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

RESUMO

A cobertura vegetal de um telhado verde extensivo precisa ser total, ao longo de todas as estações do ano, caso contrário, os benefícios desse sistema como redução dos gastos com energia elétrica, mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano, diminuição dos efeitos da poluição e aumento de áreas verdes nas cidades, não serão atingidos na sua plenitude. A diversidade de espécies presentes no telhado verde extensivo pode favorecer a ocorrência de cobertura vegetal durante todo o ano. Esta pesquisa foi realizada para avaliar a cobertura vegetal durante doze meses propiciada pelo consórcio de *Festuca arundinacea* Schreb. e *Arachis repens* Handro, plantas perenes, sobre protótipos simulando telhados verdes extensivos. Estes protótipos eram feitos em madeira com cobertura de telhas de fibrocimento sob inclinação de 5%. *F. arundinacea* foi selecionada por ser indicada para cultivo em regiões frias, sujeitas a geadas. *A. repens* foi selecionada por ser indicada para cultivo em climas quentes e longos períodos de chuvas, situações comuns na região de Curitiba no verão. Os resultados evidenciaram que o crescimento agressivo da *F. arundinacea* propiciou cobertura vegetal total do telhado verde em todas as estações do ano, entretanto sua rusticidade e agressividade prejudicaram a rebrota de *A. repens* no período do verão causando insucesso do consórcio.

Palavras-chave: consórcio em telhado verde, cobertura vegetal, grama amendoim, festuca, telhados biodiversos.

ABSTRACT

The vegetation cover rate of an extensive green roof needs to be full throughout all seasons, otherwise the benefits of such a system as reduced energy costs, mitigating the effects of urban heat islands, diminishing effects of pollution and increase of green areas in the cities, are not reached. In order to have this coverage, it is necessary to have a diversity of plants on the roof, with species tolerant to the different climatic conditions that occur throughout the crop, so that while one group of species responds well to summer, another group may be more suitable for winter. In this way, the cultivation of plants in consortia can provide gains, since the promotion of this coverage rate tends to be full. Thus, a research was carried out on which species would be indicated in this technology and its resistance throughout the seasons. The research was implanted in wood prototypes with asbestos cement roofing, simulating a roof environment, with an average slope of 5%. For twelve months, growth and development of *Festuca arundinacea* Schreb and *Arachis repens* Handro, perennial plants were evaluated in a substrate composed of sawdust and tanned manure of birds. *F. arundinacea* was selected by expressive growth in cold regions and frost tolerance, representing the winter species. *A. repens* was the summer species, which reacts well to the heat and long periods of rain, common situations in the region of Curitiba for this season of the year. The results evidenced the aggressive growth of *F. arundinacea* with full vegetation coverage at all times of the year. *A. repens* did not sprout in rainy conditions and did not support intercropping with *F. arundinacea*.

Key words: consortium in green roof, green cover, perennial peanut, tall fescue, biodiversity green roofs

4.1 INTRODUÇÃO

O uso de telhados verdes pode contribuir com o aumento da eficiência energética (JIANG; TANG, 2017); reduzir enchentes, pois ele favorece a retenção e diminuição da velocidade do escoamento de águas pluviais (LIU; LI; LI, 2017; WANG; QIN; HU, 2017); melhora a qualidade do ar (JAYASOORIYA et al., 2017); além de contribuir com a biodiversidade e criação de cidades sustentáveis (JIM, 2017).

O cultivo de apenas uma espécie sobre telhados verdes extensivos observado por Noya et al. (2017), demonstrou que ele não propiciou a cobertura vegetal plena em todas as estações do ano. Os telhados verdes biodiversos, cujo objetivo é o cultivo simultâneo de várias espécies, de preferência nativas (BUTLER; BUTLER; ORIANS, 2012), pode fornecer maior cobertura vegetal, ao longo das estações do ano, pois as diferentes espécies poderão se beneficiar de cada condição climática, de acordo com suas características e exigências.

Atualmente, no Brasil, o consorciamento entre plantas não tem sido verificado em telhados verdes extensivos, apenas pesquisas relacionadas com crescimento e desenvolvimento da vegetação (RAZZAGHMANESH; BEECHAM; KAZEMI, 2014), importância da escolha das espécies para os benefícios dos telhados verdes (POOROVA et al., 2016), bem como seleção dessas espécies para cada condição climática (SILVA; FLORES-COLEN; COELHO, 2015). Portanto, a investigação de espécies adaptadas ao sistema de consórcio em condições subtropicais torna-se relevante.

A fim de proporcionar cobertura vegetal (BEVILACQUA et al., 2015; LI; YEUNG, 2014; LIU et al., 2012) durante todo o ano, selecionaram-se para cultivo nesta pesquisa, duas espécies perenes herbáceas e nativas, adaptadas ao clima subtropical. *Festuca arundinacea* foi escolhida pelo rápido estabelecimento, rusticidade, tolerância ao frio e geadas, bem como pela sua indicação em consórcios com espécies leguminosas (CARVALHO et al., 2010; FONTANELI et al., 2009). Essa espécie, utilizada em pastagens, apresenta-se como uma boa alternativa, entretanto, existe relatos que no verão ela não é esteticamente ornamental (CARVALHO et al., 2010). Visando favorecer o visual do telhado durante o verão,

quando os perfilhos de *Festuca arundinacea* estão secos, a *Arachis repens* foi selecionada por ser adaptada às temperaturas locais de verão e às chuvas constantes, como verificado por Noya et al. (2017).

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar se o consórcio entre *F. arundinacea* e *A. repens*, cultivadas em telhados verdes extensivos, promove cobertura vegetal ao longo das estações do ano.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no Centro de Estações Experimentais do Canguiri (UFPR), situado nas coordenadas geográficas -25º22'38" e -25º24'46" de latitude sul, -49º09'05" e -49º06'40" de longitude oeste, com altitude média de 920 m, de junho de 2016 até junho de 2017.

Foram construídos 15 protótipos de madeira (Figura 1), cobertos com telhas de fibrocimento (8 mm), totalizando uma área de aproximadamente 25 m². Cada telha tinha 1,83 m de comprimento por 0,93 m de largura e inclinação de 5%. A inclinação foi obtida pela colocação de cavaletes de madeira de altura 1,20 m, 1,15 m, 1,10 m e 1,05 m com espaçamento de 0,45 m. Estruturas de madeira foram utilizadas para contenção do substrato. Os protótipos foram divididos com ripas de madeira de aproximadamente 10 cm de altura, em quatro áreas iguais, cada área possuindo 0,35 m².

Figura 1. Protótipos de telhados verdes extensivos com estrutura de madeira e telhas de fibrocimento com inclinação de 5%, Pinhais, PR.

Para a impermeabilização usaram-se plásticos de polietileno de baixa densidade, com o dobro da área de cada quadrante, sendo modelados conforme curvatura da telha e ascendendo até a altura da borda do quadrante, aproximadamente 10 cm. Logo após acrescentou-se argila expandida (tipo 1506),

até atingir 2 cm de profundidade, com função drenante. Acima dessa camada colocou-se a manta geotêxtil com as mesmas dimensões do plástico.

O substrato utilizado foi composto de esterco de aves curtido e serragem na proporção 1:1, conforme recomendado por Noya et al. (2017). O volume de substrato em cada um dos quatro quadrantes por protótipo foi 0,016 m³, com aproximadamente 10 cm de espessura. As plantas *F. arundinacea* e *A. repens* compuseram o consorciamento com densidade de quatro plantas de cada espécie por quadrante, plantadas simultaneamente, em junho de 2016. Considerou-se como tratamento controle o plantio de *F. arundinacea* sem consórcio. Para tanto, foram plantadas oito mudas de *F. arundinacea* em cada quadrante. As espécies foram plantadas com mudas de aproximadamente 8 cm de diâmetro, com espaçamento de 15 cm, no tratamento controle.

As análises da cobertura vegetal foram realizadas a cada 15 dias por meio de fotografias tiradas em estrutura de canos de policloreto de vinila (PVC) (20 mm) adaptada ao modelo de construção e fixada sobre o quadrante, com altura de 90 cm, onde a câmera manteve-se acoplada. O *software* utilizado para a quantificação da cobertura vegetal foi o *ImageJ*®. O perfilhamento e a altura de mudas de *F. arundinacea* foram observados a cada 30 dias, contando-se manualmente cada brotação nova a partir da região do colo da planta, e a altura foi medida com régua graduada em centímetros. A pluviosidade local e temperatura foram monitoradas diariamente.

O experimento foi organizado em blocos ao acaso, com 30 repetições de cada tratamento, nos dois tratamentos (T1 = consórcio e T2 = sem consórcio). Foram avaliadas as coberturas vegetais do consórcio de *F. arundinacea* com *A. repens*, e *F. arundinacea* sem consórcio, com comparação de média pelo teste de Tukey.

4.3 RESULTADOS

O consorciamento de *A. repens* com *F. arundinacea* não demonstrou efetividade (Tabela 1) e *A. repens* apresentou mortalidade no início da pesquisa.

F. arundinacea obteve, ao longo da pesquisa, cobertura vegetal (Tabela 1) nos tratamentos onde estava em consórcio e sem consórcio, invadindo até mesmo as áreas onde encontravam-se *A. repens*.

Tabela 1. Cobertura vegetal (%) do consórcio de *Festuca arundinacea* e *Arachis repens* cultivados no sistema de consórcio e *Festuca arundinacea* sem consórcio, em protótipo de telhado verde extensivo, no período de junho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

Sistema	Consorciamento	Sem consorciamento
Meses cultivo	*Arachis repens + Festuca arundinacea*	*Festuca arundinacea*
Junho	33,2 b	34,0 b
Julho	56,3 b	65,0 b
Agosto	68,7 b	75,0 b
Setembro	87,5 b	92,0 a
Outubro	95,1 a	100,0 a
Novembro	99,5 a	100,0 a
Dezembro	99,3 a	100,0 a
Janeiro	100,0 a	100,0 a
Fevereiro	100,0 a	100,0 a
Março	98,2 a	100,0 a
Abril	95,3 a	97,0 a
Maio	96,3 a	95,0 a
C. V. (%)	23	16

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Na Figura 2, onde a espécie apresenta cobertura vegetal acima dos valores recomendados, é possível dimensionar essa característica, principalmente em volume de vegetação, onde o perfilhamento de *F. arundinacea* colabora para o crescimento em cobertura vegetal.

Figura 2. *Festuca arundinacea* após dois meses de cultivo, sem consórcio, no mês de julho, em sistema de telhado verde extensivo. Pinhais, PR, 2016.

F. arundinacea é uma gramínea perene (CARVALHO et al., 2010), portanto presta-se muito bem para as condições limitadas dos telhados verdes extensivos, e com seu sistema radicular bem desenvolvido persiste mesmo em épocas onde observou-se pouca precipitação (Figura 3). Plantas selecionadas para uso em telhados verdes precisam ser resistentes ao déficit hídrico. Dessa forma, *F. arundinacea* poderia ser utilizada para compor telhados verdes biodiversos.

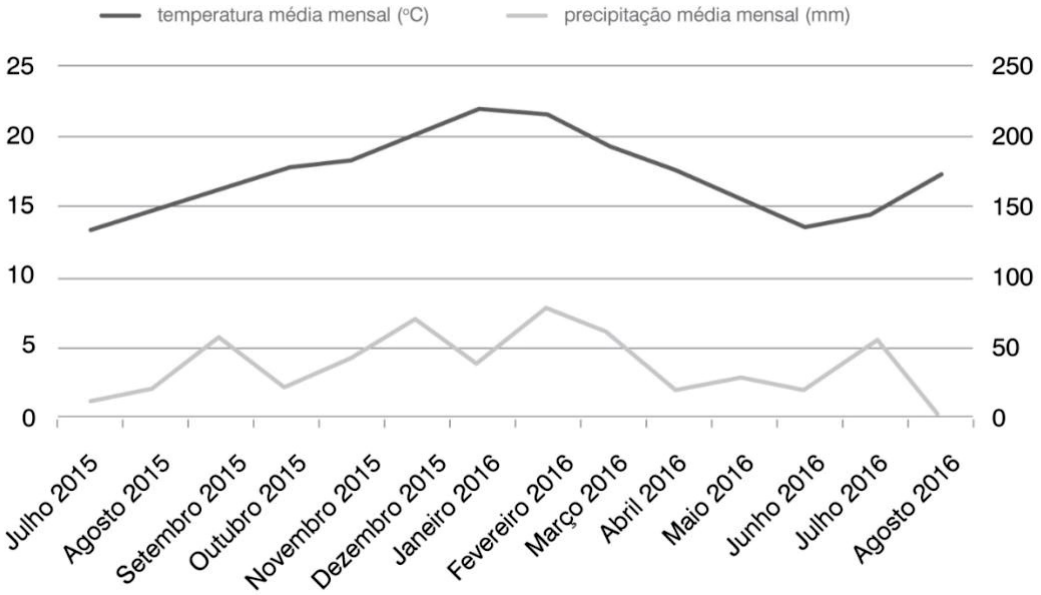


Figura 3. Temperatura e precipitação no período compreendido entre julho de 2015 a agosto de 2016, Pinhais, PR.

A espécie, além de apresentar rápido crescimento, também se mostrou resistente à geada (Figura 4), concordando com relatos encontrados na literatura (FONTANELI et al., 2009).

Figura 4. *Festuca arundinacea* cultivada em telhado verde extensivo, no mês de junho, após a primeira geada em 2016, Pinhais – PR.

A cobertura que essa planta proporciona vem dos perfilhos já secos que vão se depositando sobre o substrato e preenchem a área do telhado. Não foram mensuradas alturas de *A. repens*, justamente pela sua mortalidade, antes da primeira avaliação.

Tanto no tratamento com consórcio, quanto sem consórcio a altura das mudas de *F. arundinacea* foi, em média, 55 cm. E o número de perfilhos, ao longo dos meses, foi de 80 novas brotações.

4.4 DISCUSSÃO

A *F. arundinacea* é uma gramínea perene (CARVALHO et al., 2010) e considerada como planta forrageira no Sul do Brasil, utilizada pela sua tolerância aos fatores bióticos e abióticos encontrados no campo.

Seu consorciamento não apresentou os resultados esperados, pois ao longo da pesquisa, mostrou-se invasora da área de *A. repens*. Esse fato pode estar relacionado ao possível efeito alelopático de *F. arundinacea*, pois extratos dessa espécie causaram redução na germinação de sementes de *Medicago sativa*, planta da mesma família de *A. repens*, Fabaceae (REZENDE et al., 2010).

A alelopatia pode ser benéfica ou maléfica na relação entre as plantas, e em sistemas de consórcios é importante verificar tais efeitos para que não haja competição (REZENDE et al., 2010) e consequentemente morte da espécie de interesse, pois cada planta apresentará seu potencial fisiológico ótimo na estação do ano propícia. Portanto, nessa pesquisa pode ter acontecido a interação maléfica.

Muitas plantas possuem incompatibilidade em relação às outras, gerando competição e baixo desenvolvimento vegetativo (BUTLER; ORIANS, 2011), e nesse caso, de consorciamento onde uma espécie causou efeito de supressão sobre a outra, infere-se a possibilidade do efeito alelopático.

Conforme já citado na literatura (CARVALHO et al., 2010) a *F. arundinacea* após seu florescimento, o que ocorreu na entrada do verão, não apresentou aspecto estético. No entanto, verificou-se que a *F. arundinacea*, mesmo sem características estéticas favoráveis, durante o verão, não permitiu a sobrevivência de *A. repens* sob condições climáticas ótimas para seu desenvolvimento, ou seja, períodos com precipitação mensal em torno de 150 mm e temperaturas médias de 22°C (NOYA et al., 2017).

Em telhados verdes extensivos há muita dificuldade em elencar a vegetação correta para que todas as plantas tenham espaço suficiente e disponibilidade de nutrientes na reduzida camada de substrato (BUTLER; BUTLER; ORIANS, 2012), e nessa pesquisa foi observado que a vegetação nem sempre pode ser consorciada por conta de fatores fisiológicos de inibição do crescimento de uma planta em detrimento de outra (TAIZ; ZEIGER, 2017). Dessa maneira, evidencia-se a importância de pesquisas com consorciamento de espécies em telhados verdes extensivos.

O fato do alto crescimento de *F. arundinacea* pode estar relacionado também com a época de plantio, no início de junho, onde as condições climáticas encontravam-se ideais para seu desenvolvimento (Figura 3). Essa espécie apresenta seu maior crescimento nos meses mais frios (FONTANELI et al., 2009), onde a altura das plantas também pode ter suprimido o crescimento de *A. repens*, pela falta de espaços abertos. Além do perfilhamento e desenvolvimento que cobriu a área dos telhados.

A *F. arundinacea* mostrou-se uma opção muito adequada ao cultivo em telhados verdes, pois sua tolerância a geada e resistência aos períodos de seca a tornam importante espécie nesse sistema. A cobertura vegetal acima do valor recomendado pela literatura (BEVILACQUA et al., 2015; LI; YEUNG, 2014), demonstra que sozinha no cultivo já foi eficiente.

Assim, com o consorciamento previa-se uma espécie de verão para que assumisse o caráter estético e demonstrasse sua exuberância nessa estação. Porém, *A. repens* foi suprimida pelo excessivo crescimento de *Festuca*, fazendo com que o consórcio não fosse efetivo.

Dessa maneira, as duas espécies cultivadas no mesmo local não forneceram cobertura vegetal em todas as estações do ano, conforme era previsto no início da pesquisa. Havendo a sobreposição de *F. arundinacea* em toda a área de telhados verdes extensivos.

4.5 CONCLUSÕES

O consórcio entre *F. arundinacea* e *A. repens* não promoveu cobertura vegetal. *F. arundinacea* suprimiu *A. repens*, não sendo indicado o consórcio com essas espécies para uso em telhados verdes extensivos na região de Curitiba.

REFERÊNCIAS

BEVILACQUA P.; COMA, J.; PEREZ, G; CHOCARRO, C.; JUÁREZ, A.; SOLÉ, C.; DE SIMONE, M.; CABEZA, L. F. Plant cover and floristic composition effect on thermal behavior of extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 305-316, 2015.

BUTLER, C.; ORIANS, C. M. *Sedum* cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 11, p. 1796-1803, 2011**.**

BUTLER, C.; BUTLER, E.; ORIANS, C. M. Native plant enthusiasm reaches new heights: perceptions, evidence and the future of green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, p. 1-10, 2012.

CARVALHO, P. C. F.; SANTOS, D. T.; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A.; NABINGER, C. **Forrageiras de clima temperado**. *In*: Dilermando Fonseca de Miranda; Janaína Azevedo Martuscello. (Org.). Plantas Forrageiras. Viçosa: UFV, 2010, v. 1, p. 494-537.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R. S. (Eds.) **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta nas região sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

JAYASOORIYA, V. M.; NG, A. W. M.; MUTHUKUMARAN, S.; PERERA, B. J. C. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 21, p. 34-47, 2017.

JIANG, L.; TANG, M. Thermal analysis of extensive green roofs combined with night ventilation for space cooling. **Energy and Buildings**, v. 156, n. 1, p. 238-249, 2017.

JIM, C. Y. Green roof evolution trough exemplars: germinal prototypes to modern variants. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 69-82, 2017.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 127-134, 2014.

LIU, C.; LI, Y.; LI, J. Geographic information system-based assessment of mitigating flash-flood disaster from green roof systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 64, p. 321-331, 2017.

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; SCHAFER, G.; ARMINDO, R. A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 662-669, 2017.

POOROVA, Z.; VRANAY, F.; ALHOSNI, M. S.; VRANAYOVA, Z. Importance of different vegetation used on green roofs in terms of lowering temperature and water retention. **Procedia Engineering**, v. 162, p. 39-44, 2016.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; KAZEMI, F. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. **Science of the Total Environment**, v. 476-477, p. 288-297, 2014.

REZENDE, C. P.; PINTO, J. C.; EVANGELISTA, A. R.; SANTOS, I. P. **A. Alelopatia e suas interações na formação e manejo de pastagem**. Boletim Técnico 54, editora UFLA, 2010.

SILVA, C. M.; FLORES-COLEN, I.'COELHO, A. Green roofs in Mediterranean areas – survey and maintenance planning. **Building and Environment**, v. 94, p. 131-143, 2015.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

WANG, H.; QIN, J.; HU, Y. Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? **Ecological Engineering**, v. 107, p. 65-70, 2017.

5. INOCULAÇÃO DE MICORRIZAS NO SUBSTRATO PARA AUMENTO DA COBERTURA VEGETAL DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS COM *Callisia repens* E *Polygonum capitatum*

RESUMO

O cultivo em telhados verdes extensivos é geralmente dificultado pela condição ambiental precária para desenvolvimento das raízes, tais como pouca disponibilidade de nutrientes, pouca matéria orgânica e pouca capacidade de armazenamento de água no substrato. Isto pode ser minimizado pelo cultivo das plantas em substratos contendo fungos micorrízicos. No entanto, não há nas nossas condições de cultivo informações referentes à micorrização de substratos para telhados verdes. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a cobertura vegetal de duas espécies rústicas e espontâneas na região, localizadas frequentemente em terrenos baldios e outros ambientes naturais sem manutenção: *Callisia repens* e *Polygonum capitatum,* na presença e ausência de micorrizas. No desenvolvimento da pesquisa foram avaliados os efeitos da micorrização na adaptação destas espécies em três estações do ano. Os resultados demonstraram os efeitos positivos da inoculação com micorriza no substrato. No período do verão e outono *C. repens* apresentou cobertura vegetal com valores em torno de 80% no substrato com presença de micorriza. Já *P. capitatum* não apresentou cobertura vegetal para ser utilizada em telhados verdes extensivos.

Palavras-chave: Dinheiro-em-penca, tapete inglês, cobertura vegetal, fungos micorrízicos arbusculares, *Glomus* sp.

ABSTRACT

Extensive green roofs growth its generally hard task by the precarious conditions to environmental roots, such as low availability of nutrients and substrate organic matter as well as drought tolerance. This can be minimized by growing the plants on substrates containing mycorrhizal fungi. However, there is no information on mycorrhization of substrates for green roofs in our growing conditions. The objective of this research was to evaluate the coverage rate of two rustic and spontaneous species in the region, often located in empty lots and other natural environments without maintenance: *Callisia repens* and *Polygonum capitatum*, in the presence and absence of mycorrhizae. In the development of the research the effects of mycorrhization on the adaptation of these species in three seasons of the year were evaluated. The results demonstrated the positive effects of inoculation with mycorrhiza on the substrate. In the summer and autumn period, *C. repens* presented good adaptation with plant cover around 80% in the substrate with presence of mycorrhiza. P. capitatum did not present plant cover to be used in extensive green roofs.

Key words: turtle vine, pink clover, green cover, arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus* sp.

5.1 INTRODUÇÃO

Os telhados verdes são um dos pilares da bioarquitetura e vêm sendo difundidos como recursos para atenuação de ilhas de calor urbano (TAKEBAYASHI; MORIYAMA, 2007), melhoria da qualidade e umidade do ar, conforto térmico (YANG et al., 2015; SPANGENBERG, 2010) e acústico (YANG: KANG; CHOI, 2012), além de gerar economia de energia elétrica (SCOTT-MACIVOR et al., 2016; PENG; JIM, 2013).

Telhados verdes extensivos são cultivados em substratos normalmente com pouca disponibilidade de nutrientes, pouca matéria orgânica e pouca disponibilidade hídrica (YOUNG; CAMERON; PHOENIX, 2015), além de serem locais, normalmente, com dificuldade de acesso e manutenção (ROOF GREENING GUIDELINE, 2010).

A sobrevivência e estabelecimento da vegetação durante condições de déficit hídrico e baixa fertilidade podem se tornar um entrave nesse cultivo. Pesquisas com espécies herbáceas pouco tolerantes à seca em região subtropical (NOYA et al., 2017) demonstram que a cobertura vegetal diminui nessas condições, o que não é desejável em telhados verdes extensivos. Dessa forma, é fundamental a escolha correta das espécies e, principalmente, investir em melhoria da qualidade dos substratos aplicados.

Os substratos utilizados para telhados verdes podem ser inoculados com fungos micorrízicos arbusculares, que são associações promotoras de melhor absorção de água e sais minerais (TAIZ; ZEIGER, 2017). Esses fungos podem secretar enzimas hidrolíticas que aumentam a disponibilidade de certos nutrientes no substrato, como o fósforo (YOUNG; CAMERON; PHOENIX, 2015). Com isso, melhora-se a fertilidade e consequente desenvolvimento da vegetação (JOHN et al., 2014; RUMBLE; GANGE, 2013).

As espécies para uso em telhados verdes precisam ser escolhidas de acordo com sua rusticidade e adaptação ao ambiente precário em termos de substrato, pois a sobrevivência e estabelecimento durante condições de seca serão imprescindíveis. Plantas suculentas e da família Poaceae têm sido indicadas com sucesso para telhados verdes (BLANUSA et al., 2013; BUTLER; ORIANS, 2011; ONDOÑO; MARTIÑEZ-SANCHEZ; MORENO, 2015). Porém, no Brasil existe a

necessidade de pesquisas frente às condições climáticas serem distintas desses locais de pesquisa. A literatura recomenda, para telhados verdes extensivos, optar pelas plantas herbáceas perenes de raízes fasciculadas onde a rápida cobertura vegetal é frequentemente observada, principalmente em locais com pouca manutenção, e também, devido ao seu sistema radicular adequar-se ao menor volume de substrato (BEATRICE; VECCHIA, 2011).

Nesta pesquisa a vegetação foi escolhida pela sua rusticidade em ambientes sem manutenção, como terrenos baldios. Dessa maneira, foram selecionadas espécies que pudessem proporcionar cobertura vegetal acima de 80% (BEVILACQUA et al., 2015; LI; YEUNG, 2014; BUTLER; ORIANS, 2011).

Callisia repens, conhecida como dinheiro-em-penca, é uma espécie herbácea perene, muito ramificada, de folhagem ornamental com de 5 a 10 cm de altura. E *Polygonum capitatum* conhecida como tapete-inglês, é uma espécie herbácea perene, utilizada como forração, mas que aparece localmente de forma espontânea em fendas de muros, de hábito reptante, de 15 a 20 cm de altura (LORENZI, 2013). *C. repens* é frequentemente recomendada para cultivo em telhados verdes extensivos no Brasil (INSTITUTO CIDADE JARDIM, 2017; ECOTELHADO, 2017; SKYGARDEN, 2017). Mas, não existem relatos de recomendação de *P. capitatum para telhados verdes*, porém como é resistente ao frio e encontra-se geralmente em locais sem manutenção, optou-se por investigar seu cultivo.

Os substratos recomendados para essas duas espécies devem ser ricos em matéria orgânica e apresentar disponibilidade hídrica, isto em cultivo no solo como plantas ornamentais de jardins (LORENZI, 2013), já em ambientes naturais os solos são geralmente pobres em fertilidade (SIQUEIRA; SAGGIN JUNIOR, 2001).

Objetivou-se com esta pesquisa, valer-se da rusticidade das espécies, inserindo um aditivo no substrato de cultivo, a fim de favorecer a cobertura vegetal dos telhados verdes extensivos e avaliar se a interação simbiótica foi eficiente.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Centro de Estações Experimentais do Canguiri (UFPR), entre as coordenadas geográficas 25º22'38" e 25º24'46" de latitude Sul, 49º09'05" e 49º06'40" de longitude Oeste, com altitude média de 920 m, de dezembro de 2014 até agosto de 2015.

Foram construídos 10 protótipos de madeira, cobertos com telhas de fibrocimento (8 mm), totalizando uma área de aproximadamente 15 m². Cada telha possuía 1,83 m de comprimento por 0,93 m de largura e inclinação de 5%. Estruturas de madeira foram utilizadas para contenção do substrato. Os protótipos foram divididos com ripas de madeira de aproximadamente 10 cm de altura, em quatro áreas iguais, cada área possuindo 0,35 m² (Figura 1).

Figura 1. Protótipos de telhados verdes extensivos com telhas de fibrocimento, estrutura de madeira e ripas para contenção do substrato, Pinhais, PR, 2015.

Para a impermeabilização usou-se plásticos de polietileno de alta densidade (PEAD), com o dobro da área de cada quadrante, sendo modelados conforme curvatura da telha e ascendendo até a altura da borda do quadrante,

aproximadamente 10 cm. Logo após acrescentou-se argila expandida (tipo 1506), até atingir um volume correspondente a 2 cm de profundidade, com função drenante. Logo acima se colocou a manta geotêxtil com as mesmas dimensões do plástico.

O substrato utilizado foi composto de casca de arroz carbonizada (30%), turfa de *Sphagnum* (40%) da marca Turfimax S-110® e vermiculita TerraMater® (30%), avaliado previamente em metodologia proposta por Noya et al. (2017). Análises de fertilidade foram efetuadas no Laboratório de Análise de Solo e Plantas do Instituto Agronômico de Campinas. Após nove meses de cultivo, novas análises físicas e químicas de substrato foram realizadas, nos tratamentos de *C. repens* com e sem micorriza e *P. capitatum* com e sem micorriza.

O volume de substrato em cada um dos quatro quadrantes por protótipo foi 0,016 m³. A densidade foi de 31 plantas/m², transplantadas no final de novembro de 2014. As espécies foram adquiridas em caixas com 15 mudas de aproximadamente cinco centímetros de diâmetro.

Para a micorrização foram aplicados em covas espaçadas de 15 cm 3 g dos fungos micorrízicos *Glomus clarum, G. intrarradices* e *G. faciculatum* (Agromic®). Mudas *de C. repens* e *P. capitatum* com oito centímetros de altura foram plantadas entre covas, contendo o fungo.

As análises da cobertura vegetal foram realizadas a cada 15 dias por meio de fotografias tiradas em estrutura de canos de policloreto de vinila (PVC) (20 mm) adaptada ao modelo de construção e fixada sobre o quadrante, com altura de 90 cm, onde a câmera mantinha-se acoplada.

O programa computacional utilizado para a quantificação da cobertura vegetal foi o *ImageJ*®. A taxa de mortalidade de mudas foi avaliada ao final da pesquisa por contagem. Resistência à geada foi observada no período do inverno nos quatro eventos ocorridos, entre junho e agosto, por meio das fotografias e cobertura vegetal. Plantas espontâneas foram classificadas e descritas ao final da pesquisa. A pluviosidade local e temperatura foram monitoradas diariamente.

Os experimentos foram organizados em delineamento inteiramente casualizado, sendo cada espécie com presença e ausência de micorrizas, em três épocas. O tratamento T1 foi composto pela espécie C. *repens* com e sem micorriza, durante as estações do ano verão, outono, inverno, com 10 repetições em cada

tratamento. O T2 foi composto de *P. capitatum* com e sem micorriza e as estações do ano, com 10 repetições em cada tratamento. Os dois experimentos sofreram comparação de médias pelo teste de Tukey.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

C. repens demonstrou boa adaptação no verão (Tabela 1 e Figuras 4 A e B) frente às condições de alta temperatura e baixa precipitação (conforme demonstrado na Figura 3). A cobertura de *C. repens* não micorrizada e com micorriza, demonstra que o crescimento e os benefícios das micorrizas nem sempre são evidentes para as plantas no telhado verde, conforme resultados verificados por Young; Cameron; Phoenix (2015). Isto pode ser devido as micorrizas ainda não serem necessárias frente às condições favoráveis do ambiente (SOUZA et al., 2006) ou a elas não estarem fazendo efeito ainda devido à recente inoculação (YOUNG; CAMERON; PHOENIX, 2015).

Tabela 1. Cobertura vegetal (% da área total do telhado verde) propiciada por *Callisia repens* cultivada em protótipos de telhados verdes com e sem micorriza nos períodos de verão, outono e inverno.

Condições de cultivo	Época do ano		
	Verão	Outono	Inverno
Callisia repens com micorriza	76,88 aA	79,04 aA	12,70 aB
Callisia repens sem micorriza	76,52 aA	50,29 bB	0,40 bC
C.V. (%)		18,74	

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Durante o outono (Figuras 5 A e 5 B), *C. repens* com micorriza apresentou um incremento de 30,8% em cobertura vegetal comparada com o substrato não micorrizado (Tabela 1). Confirmando que plantas micorrizadas apresentam melhor resistência à seca, conforme ocorreu nesta estação (Figura 2) (DALANHOL et al., 2017). Isto pode ser justificado porque a rede de hifas das micorrizas se instala nas

raízes das plantas aumentando o poder de absorção de água e nutrientes minerais (SOUZA et al., 2006).

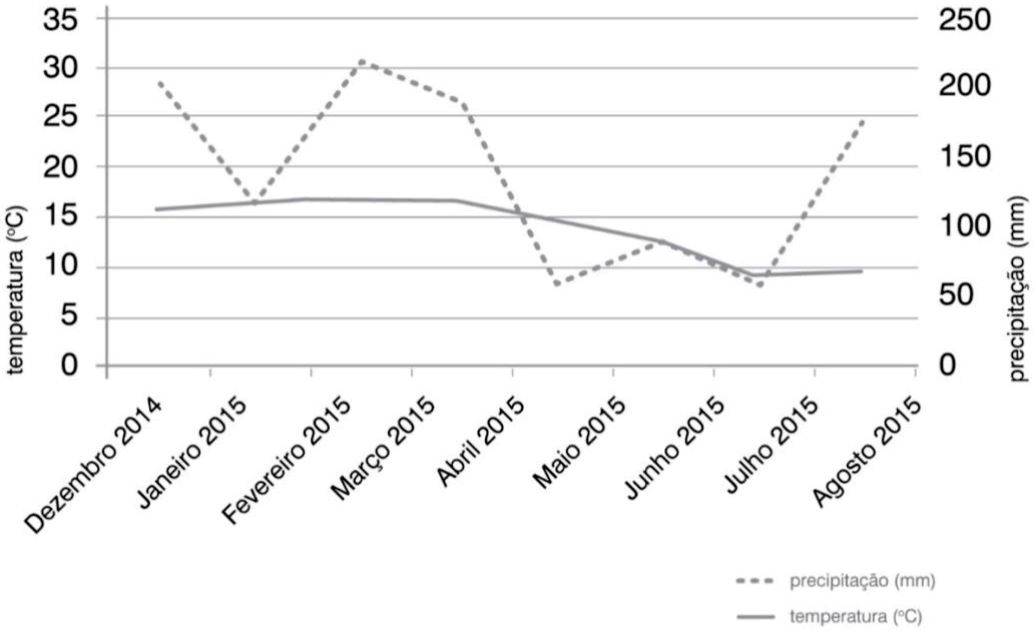


Figura 2. Temperatura e pluviosidade mensais compreendidas entre o período de dezembro de 2014 a agosto de 2015, Pinhais, PR. Fonte: SIMEPAR (2015).

Geralmente em espécies nativas, cultivadas em solos de baixa fertilidade, como a *C. repens*, a associação com fungos micorrízicos ocorre de forma facultativa (SIQUEIRA; SAGGIN-JUNIOR, 2001; BERBARA et al., 2006), evidenciando-se que *C. repens* aumentou a cobertura vegetal com a inoculação de micorrizas (Tabela 1). Portanto, isso promoveria seu uso visto que o substrato típico de telhados verdes frequentemente possui baixa fertilidade. Nesse tipo de associação facultativa os fungos mutualísticos se desenvolvem sem a necessidade de planta hospedeira (YOUNG; CAMERON; PHOENIX, 2015) favorecendo o ambiente de telhados verdes extensivos onde outras espécies espontâneas podem se beneficiar com a simbiose (McGUIRE et al., 2013).

Desde que a rede de hifas das micorrizas se estenda vários centímetros para além da zona colonizada pelas raízes, as plantas se tornam aptas a obter nutrientes a partir de volume de substrato muito maior do que seria possível sem as micorrizas (SOUZA et al., 2006), sendo assim as plantas não micorrizadas não estavam

devidamente nutridas e apresentaram menores taxas de cobertura vegetal (Tabela 1).

No entanto, no período de inverno onde foi observada geada com fina camada de orvalho nas folhas, a espécie *C. repens* não apresentou tolerância ao frio, diminuindo a cobertura vegetal gradativamente no tratamento micorrizado (Figura 6 A) não micorrizado (Figura 6 B). Após a ocorrência da terceira geada, a taxa de sobrevivência foi muito pequena (Tabela 1). A mortalidade de *C. repens* durante o inverno não era esperada, tampouco relatada pela literatura nas condições ambientais da região (STUMPF, 2018). Talvez a sobrevivência delas em áreas urbanas seja favorecida pelo efeito de ilhas de calor em áreas urbanas, as quais não ocorreram em área rural onde esta pesquisa foi desenvolvida.

E efeito da micorriza sobre a resistência as baixas temperaturas de outono e geada (Tabela 1) provavelmente foi devido à associação promover maior absorção de nutrientes, dentre eles o fósforo e potássio (SOUZA et al., 2006). Dessa forma, a capacidade de responder aos estímulos fez com que as plantas micorrizadas estivessem aptas para resistir um pouco melhor às condições adversas, principalmente à seca. Embora, este desempenho esteja muito aquém do que seria necessário para recomendá-la para plantio em telhados verdes extensivos durante o inverno.

O cultivo de *C. repens* com micorriza permitiu que as plantas sobrevivessem melhor ao frio (Tabela 1). Isto poderia favorecer que os propágulos remanescentes se mantivessem para rebrota no ano seguinte, o que demonstraria a importância do sistema de cultivo em consórcio.

Figura 4. *Callisia repens* cultivada sem micorriza (A); *Callisia repens* cultivada em protótipos de telhados verdes com micorriza (B) (verão, 2014).

Figura 5. *Callisia repens* cultivada sem micorriza (A); *Callisia repens* cultivada em protótipos de telhados verdes com micorriza (B) (outono, 2015).

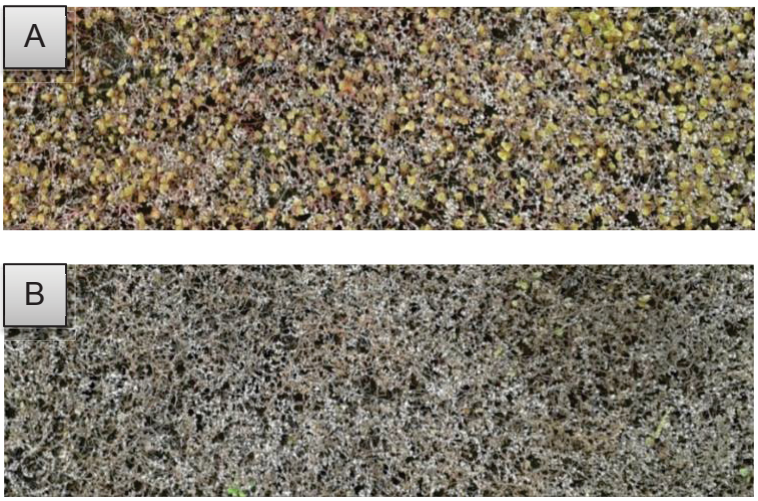


Figura 6. *Callisia repens* cultivada sem micorriza (A); *Callisia repens* com micorriza (B) (inverno, 2015).

No período do verão *P. capitatum* com micorriza (Figura 7 A) apresentou área coberta abaixo dos valores preconizados na literatura (BEVILACQUA et al., 2015; LI; YEUNG, 2014) para cobertura vegetal (Tabela 2), enquanto no *P. capitatum* sem micorriza (Figura 7 B) atingiu pequena cobertura vegetal (Tabela 2), não sendo observado o provável benefício da micorriza. Já, no período de outono, as micorrizas demonstraram seu efeito benéfico (JOHN et al., 2014), pois a cobertura vegetal foi maior para *P. capitatum* com micorriza (Figuras 8 A e 8 B). Esse incremento vegetal deve-se também ao desenvolvimento natural da planta ao longo do tempo associado a condições ambientais favoráveis para seu desenvolvimento (Figura 2). Essa espécie é considerada como espontânea, e deve-se ao fato dela possuir adaptação às mais diversas condições ambientais como escassez de água (MEURER, 2007) e radiação solar intensa (JARAMILLO-ROBLEDO, 2005), além de frutificar em abundância com elevada produção de sementes viáveis.

No período de inverno, devido às baixas temperaturas (Figura 2) ocorreu diminuição da cobertura vegetal propiciada por *P. capitatum*, que não apresentou a ação de micorriza suficiente que garantisse o seu bom desempenho (Figuras 9 A e 9 B), tampouco a recomendação desta tecnologia para telhados verdes durante o inverno.

O cultivo de *P. capitatum* com micorriza permitiu que as plantas sobrevivessem melhor ao frio do outono, mas não ao inverno (Tabela 2), embora uma melhor resistência às condições adversas possa propiciar melhor rebrota dos propágulos no ano seguinte. Estes resultados também indicam que o cultivo de *P. capitatum* com micorriza no sistema de consórcio possa ser uma alternativa para os períodos em que não ocorrem geadas.

Tabela 2. Cobertura vegetal (% da área total do telhado verde) propiciada por *Polygonum capitatum* cultivada em protótipos de telhados verdes com e sem micorriza nos períodos de verão, outono e inverno.

Condições de cultivo	Época do ano		
	Verão	Outono	Inverno
Polygonum capitatum com micorriza	37,15 aB*	50,39 aA	10,85 aC
Polygonum capitatum sem micorriza	37,59 aA	35,57 bA	11,17 aB
C.V. (%)		8,34	

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

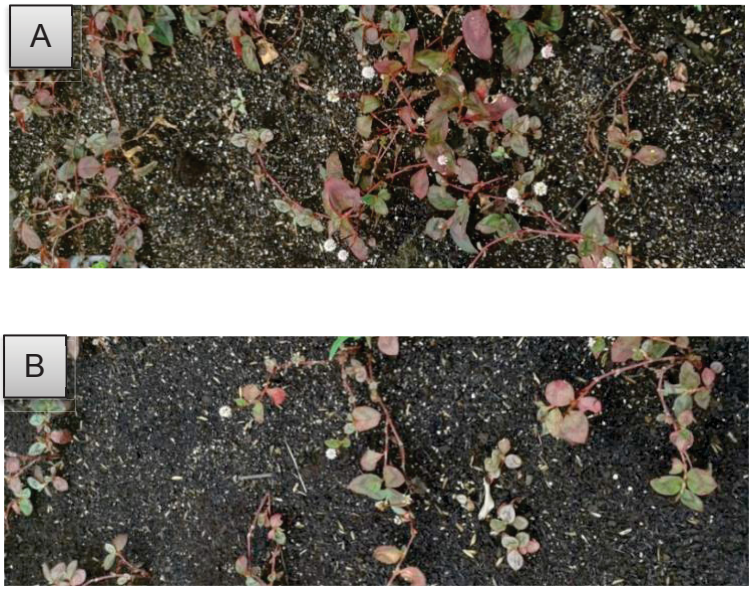


Figura 7. *Polygonum capitatum* cultivado com micorriza (A); *Polygonum capitatum* cultivado sem micorriza (B) (verão, 2014).

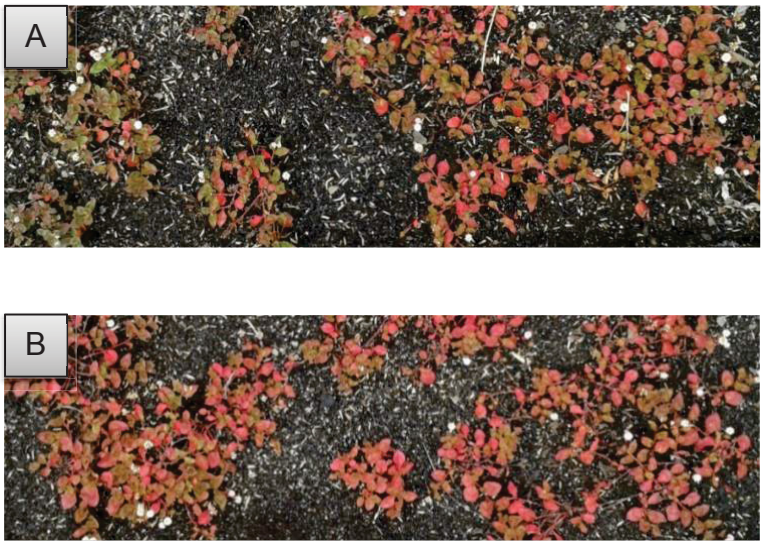


Figura 8. *Polygonum capitatum* cultivado com micorriza (A); *Polygonum capitatum* cultivado sem micorriza (B) (outono, 2015).

Figura 9. *Polygonum capitatum* cultivado com micorriza (A); *Polygonum capitatum* cultivado sem micorriza (B) (inverno, 2015).

A fertilidade do substrato (Tabela 4) mostra que o fósforo estava disponível ao final da pesquisa em maior quantidade no substrato com a presença de micorrizas, fato que poderia comprovar essa eficiência maior de absorção (KERBAUY, 2012).

Tabela 4. Teor total de macro e micronutrientes no substrato composto por casca de arroz carbonizada; turfa de *Sphagnum* e vermiculita (1:1,33:1), ao final da pesquisa.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/Kg						mg/Kg		g/Kg	Mg/Kg	
Sem micorriza	2,6	0,2	2,3	15,0	46,9	0,5	39,7	9,0	13,4	158,4	31,1
Com micorriza	1,6	0,6	2,5	12,3	52,8	0,4	41,1	14,4	15,5	261,1	54,5

As plantas que possuem alto desenvolvimento em solos extremamente pobres em fósforo, quando impostas a outro ambiente de crescimento podem não se desenvolver da maneira esperada (BERBARA et al., 2006). Assim, os teores de fósforo no tratamento com micorriza (Tabela 4), possivelmente interferiram no desenvolvimento das espécies.

Tabela 5. Propriedades físicas e químicas do substrato composto de casca de arroz carbonizada; turfa de *Sphagnum*; vermiculita na proporção 1:1,33:1, antes do cultivo.

pH	H_2O	8,0
CE	mS cm^{-1}	0,14
DU	kg m^{-3}	216,25
DS	kg m^{-3}	168,8
UA	%	21,95
PT	%	81,16
EA	%	17,86
AFD	%	28,14
AT	%	4,78
AR	%	30,38
CRA (10)	%	63,31
CRA (50)	%	35,16
CRA (100)	%	30,38
TTSS		0,11

DU: densidade úmida; DS: densidade seca; UA: Umidade Atual, pH: determinado em água, diluição 1:5 (v/v); CE: condutividade elétrica obtida em solução 1:5 (v/v); TTSS: 1:10; PT: porosidade total; EA: espaço de aeração; AFD: água facilmente disponível; AT: água tamponante; AR: água

remanescente; CRA10, 50 e 100: capacidade de retenção de água sob tensão de 10, 50 e 100 hPa determinado em base volumétrica.

Percebe-se que, após o cultivo, as características de porosidade (Tabela 6), principalmente nos tratamentos com micorriza, foram maiores, pois as raízes e redes de hifas (SOUZA et al., 2006) podem ter colaborado para criar mais espaços porosos. Essa vantagem diz respeito à qualidade do substrato, pois pode fornecer maior drenagem em épocas chuvosas, frequentes na região de Curitiba.

Tabela 6. Propriedades físicas e químicas do substrato composto de casca de arroz carbonizada; turfa de *Sphagnum*; vermiculita na proporção 1:1,33:1, após o cultivo com *Callisia repens* com e sem micorriza e *Polygonum capitatum* com e sem micorriza.

	Callisia repens com micorriza	*Callisia repens* sem micorriza	*Polygonum capitatum* com micorriza	*Polygonum capitatum* sem micorriza
pH	6,96	7,24	7,15	7,02
CE	0,02	0,03	0,02	0,02
DU	589,32	595,78	570,54	582,94
DS	190,70	199,44	180,60	187,36
UA	67,64	66,52	68,35	67,86
PT	97,54	90,11	98,11	93,12
EA	41,26	41,52	41,32	36,74
AFD	20,23	19,62	22,49	22,46
AT	4,90	5,89	6,40	5,87
AR	31,16	31,08	27,91	28,04
CRA (10)	56,28	56,59	56,79	56,37
CRA (50)	36,05	36,97	34,31	33,91
CRA (100)	31,16	31,08	27,91	28,04
TTSS	0,05	0,06	0,04	0,04

DU: densidade úmida; DS: densidade seca; UA: Umidade Atual, pH: determinado em água, diluição 1:5 (v/v); CE: condutividade elétrica obtida em solução 1:5 (v/v); TTSS: 1:10; PT: porosidade total; EA: espaço de aeração; AFD: água facilmente disponível; AT: água tamponante; AR: água remanescente; CRA10, 50 e 100: capacidade de retenção de água sob tensão de 10, 50 e 100 hPa determinado em base volumétrica.

Por possuírem um porte herbáceo, sistema radicular eficiente, tolerância ao déficit hídrico, pouca exigência quanto a nutrientes, tolerância a amplas variações de temperatura (LORENZI, 2013) e demais características de plantas para uso em telhado verdes, *P. capitatum* e *C. repens* demonstraram as vantagens esperadas do uso de micorrizas principalmente no verão e outono sendo enquadradas como plantas desenvolvedoras de fungos micorrízicos arbusculares.

Dessa forma, seria possível cultivá-las em consórcio com espécies tolerantes e aclimatadas às geadas frequentes. Entretanto, nem *Callisia repens* micorrizada nem *Polygonum capitatum* micorrizada nos meses em que ocorreu seu melhor desempenho (Tabelas 1 e 2) não apresentaram uma cobertura vegetal acima de 80%, valor recomendado pela literatura (BEVILACQUA et al., 2015; LI; YEUNG, 2014). Isto demonstra a necessidade de desenvolver mais estudos sobre o assunto.

Em relação ao número de plantas espontâneas de outras espécies, não houve incidência de plantas espontâneas no protótipo de telhado com *C. repens*. A maior ocorrência de plantas espontâneas em *P. capitatum* com e sem micorriza (Tabela 7) deve-se ao fato de possuírem menor cobertura vegetal, o que aumenta a incidência de luz sobre o substrato e consequentemente elevação da temperatura, o que estimula a germinação de sementes de plantas espontâneas (SALVADOR, 2007) e futuramente gera competição, por água e nutrientes. Essa competição é vista como benéfica nos telhados verdes extensivos biodiversos, pois é necessária cobertura vegetal plena, ou seja, as plantas que se estabelecerem de forma natural serão mais adaptadas e promoverão essa área coberta, além de servirem como atração para fauna local.

Tabela 7. Número de plantas espontâneas identificadas em *Polygonum capitatum* com e sem micorriza no substrato, ao final da pesquisa.

Tratamento	Plantas espontâneas	
	Quantidade	Espécie
P. capitatum com micorriza	15	*Eleusine indica*
	11	*Oxalis latifólia*
	11	*Bidens pilosa*
P. capitatum sem micorriza	12	*Eleusine indica*

Plantas espontâneas do ponto de vista ecológico são desejáveis num telhado verde extensivo biodiverso, porém a identificação da invasora *E. indica* (Tabela 7) no substrato com micorriza é preocupante por ela ser considerada infestante em terrenos baldios e jardins (LORENZI, 2008). A presença de *O. latifolia* (Tabela 7) sugere a boa fertilidade do substrato inoculado com micorriza, visto que essa

espécie prefere solos com essa característica (LORENZI, 2008). Já *B. pilosa* por ser nativa é uma excelente opção, pois forma densos maciços e tem alto poder de germinação (LORENZI, 2008).

5.4 CONCLUSÕES

A interação simbiótica foi eficiente para *Callisia repens*, no período do verão e outono. *Polygonum capitatum* não atingiu cobertura vegetal com o uso de micorrizas e não é indicada para cultivo em telhados verdes extensivos, na região de Curitiba.

REFERÊNCIAS

AGROMIC: **Sistemas biológicos.** Disponível em: < http://www.agromic.com.br/produtos/nutricao-de-plantas/micofert-e-myke-pror>. Acesso em: 28 jan. 2015.

BEATRICE, C. C.; VECCHIA, F. Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 5 - 24, 2011.

BERBARA, L. L. R.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. **Fungos micorrízicos arbusculares**: muito além da nutrição. SBCS, Viçosa, 2006. 432p.

BEVILACQUA P.; COMA, J.; PEREZ, G; CHOCARRO, C.; JUÁREZ, A.; SOLÉ, C.; DE SIMONE, M.; CABEZA, L. F. Plant cover and floristic composition effect on thermal behavior of extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 305-316, 2015.

BLANUSA, T.; MONTEIRO, M. M. V.; FANTOZZI, F.; VYSINI, E.; LI, Y.; CAMERON, R. W. F. Alternatives to *Sedum* on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? **Building and Environment**, v. 59, p. 99-106, 2013.

BUTLER, C.; ORIANS, C. M. *Sedum* cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 11, p. 1796-1803, 2011.

DALANHOL, S. J.; NOGUEIRA, A. C.; GAIAD, S.; KRATZ, D. Efeito de micorrizas e da fertilização no crescimento de mudas de *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg., produzidas em diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 931-945, 2017.

ECOTELHADO. **Plantas para ecotelhado**. Disponível em: < https://ecotelhado.com/produto/ecotelhado-telhado-verde/plantas-2/>. Acesso em: 08 nov. 2017.

GREEN ROOF CODE. **The GRO green roof code**: Green Roof Code of Best Practice for the UK. 2 ed. Sheffield: Groundwork Sheffield, 2014. 28p.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. **Produtos para telhado verde**. Disponível em: < http://www.studiocidadejardim.com.br/produtos-para-telhado-verde>. Acesso em 08 nov. 2017.

JARAMILLO-ROBLEDO, A**.** La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Académica Colombiana de Ciencia,** v. 29, p. 371-382, 2005.

JOHN, J.; LUNDHOLM, J.; KERNAGHAN, G. Colonization of green roof plants by mycorrhizal and root endophytic fungi. **Ecological Engineering**, v. 71, p. 651–659, 2014.

KERBAUY, G. B. **Fisiología vegetal**. 2 ed. Guanabara Koogan, 2012.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 127-134, 2014.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil**: herbáceas, arbustivas e trepadeiras. 8 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2013.

McGUIRE, K. L.; PAYNE, S. G.; PALMER, M. I.; GILLIKIN, C. M., KEEFE, D.; KIM, S. J.; GEDALLOVICH, S. M.; DISCENZA, J. Digging the New York City skyline: soil fungal communities in green roofs and city parks. **Plos one**, v. 8, 2013.

MEURER, E. J. **Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas.** In: SBCS, Viçosa, p. 65-90, 2007.

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; SCHAFER, G.; ARMINDO, R. A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 662-669, 2017.

ONDOÑO, S.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J.; MORENO, J. L. The composition and depth of green roof substrates affect the growth of *Silene vulgaris* and *Lagurus ovatus* species and the C and N sequestration under two irrigation conditions. **Journal of Environmental Management**, v.166, p. 330-340, 2016.

PENG, L.L., JIM, C.Y. Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. **Energies,** v. 6, p. 598–618, 2013.

ROOF-GREENING GUIDELINE. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. - FLL, download edition, Bonn, January 2006.

RUMBLE, H.; GANGE, A. C. Soil microarthropod community dynamics in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 197–204, 2013.

SALVADOR, F. L. **Germinação e emergência de plantas daninhas em função da luz e da palha de cana-de-açucar (*Saccharum spp*)**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

SCOTT-MACIVOR, J. Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 36-42, 2016.

SIQUEIRA, J.O; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, n.5, p. 245-255, 2001.

SKYGARDEN. **Plantas para telhado**. Disponível em: < http://www.skygarden.com.br/index.php/telhados-verdes/opcoes-de-plantas>. Acesso em: 27 nov. 2017.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SPANGENBERG, J. **Nature in megacities** – São Paulo/Brasil: a case study. São Paulo/Weimar, 2010. 162p.

STUMPF, M. **Dinheiro em penca** (*Callisia repens*). Disponível em: < http://www.fazfacil.com.br/jardim/dinheiro-em-penca-callisia/>. Acesso em: 01 fev. 2018.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

TAKEBAYASHI, H. MORIYAMA, M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. **Building and Environment**, v. 42, n. 8, p. 2971-2979, 2007.

YANG, H. S.; KANG, J.; CHOI, M. S. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building and Environment**, v. 50, p. 44-55, 2012.

YANG, W.; WANG, Z.; CUI, J.; ZHU, Z.; ZHAO, X. Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. **Sustainable Cities and Society**, v. 16, p. 1-12, 2015.

YOUNG, T. CAMERON, D. D.; PHOENIX, G. K. Using AMF inoculum to improve the nutritional status of *Prunella vulgaris* plants in green roof substrate during establishment. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, p. 959 – 967, 2015.

6. ESPÉCIES ORNAMENTAIS HERBÁCEAS PARA CULTIVO EM TELHADOS VERDES EXTENSIVOS

RESUMO

Telhados verdes implantados nas grandes cidades podem mitigar os problemas da urbanização, auxiliar no tratamento de água das chuvas, ajudar na redução de enchentes, melhorar a qualidade do ar, aumentar a eficiência energética, promover a biodiversidade, além de trazer beleza contribuindo com a estética das cidades. Um bom planejamento de telhado verde extensivo diz respeito à escolha correta de espécies que devem ser adaptadas a condição climática e suportar os estresses fisiológicos inerentes ao cultivo. Dessa maneira, a correta escolha de espécies resistentes e que forneçam cobertura vegetal plena é fundamental. Atualmente, no Brasil, e principalmente na região Sul, não há indicações de espécies herbáceas ornamentais para telhados verdes extensivos. O objetivo da pesquisa foi avaliar a cobertura vegetal em telhados verdes extensivos propiciada por oito plantas ornamentais disponíveis no mercado local e indicadas para regiões subtropicais: *Aptenia cordifolia*, *Echeveria elegans*, *Gazania rigens*, *Lysimachia congestiflora*, *Ophiopogon japonicus*, *Osteospermum ecklonis*, *Oxalis vulcanicola* e *Zephirantes candida*. Esta pesquisa foi implantada em protótipos de madeira simulando um telhado convencional, com inclinação de 5%. Foram observadas a cobertura vegetal e taxa de sobrevivência. Imagens das unidades experimentais foram captadas ao longo de doze meses a cada quinze dias. As espécies que permaneceram durante os doze meses de pesquisa foram *Echeveria elegans* e *Ophiopogon japonicus* em torno de 100% de cobertura vegetal, sendo indicadas para cultivo em telhados verdes extensivos na região de Curitiba.

Palavras-chave: bioterraços, rosinha-de-sol, bola-de-neve mexicana, gazania, lisimáquia, margarida-do-cabo, grama preta, trevo amarelo, lírio dos ventos.

ABSTRACT

Green roofs deployed in large cities can help reduce flooding, air quality, energy efficiency, urban agriculture, biodiversity, and bring beauty by contributing to the aesthetics of cities. Good green roof planning is about the correct choice of species that must be adapted to each climate of the national territory and withstand the physiological stresses of cultivation. In this way, the correct choice of resistant species that provide full vegetation cover is fundamental in this crop. Currently, in Brazil, and especially in the South, there are no indications of ornamental herbaceous species for extensive green roofs. The species chosen for this research were selected because they showed potential for cultivation in cold climate regions with frost tolerance. The objective of the research was to select and establish resistant and indicated species for subtropical regions. For this, *Aptenia cordifolia, Echeveria elegans, Gazania rigens, Lysimachia congestiflora, Ophiopogon japonicus, Osteospermum ecklonis, Oxalis vulcanicola and Zephirantes candida* were tested. Cover rate, flowering, regrowth and establishment time were observed. Images of the experimental units were captured over a period of twelve months every two weeks. The local climatic conditions were observed, and frosts were verified. The species that remained during the twelve months of research were *Echeveria elegans* and *Ophiopogon japonicus* with 100% of green cover, being indicated for cultivation in extensive green roofs in region of subtropical climate.

Key words: bio terraces, heart leaf, echeveria, treasure flower, moneywort, Cape marguerite, mondo grass, volcanic sorrel, fairy lily.

6.1 INTRODUÇÃO

Os telhados verdes podem ajudar a mitigar os problemas da urbanização, trazendo o resfriamento natural, reduzindo em até 72% o fluxo de calor do telhado para a área interna da edificação (GREEN ROOF REPORT, 2011); auxiliar na filtração de água das chuvas e purificação do ar, além da redução da taxa de escoamento das águas pluviais em até 65% (GREEN ROOF REPORT, 2011), justamente pelo uso de vegetação que, também, pode atrair a fauna como pássaros, abelhas e borboletas.

Esse sistema pode ser implantado para contribuir na diminuição de impactos ambientais pela possível preservação da natureza, e sendo devidamente projetados, construídos e bem manejados nos aspectos agronômicos, trazem benefício ambiental e fiscal (GREEN ROOF REPORT, 2011).

Um bom planejamento de telhado verde extensivo diz respeito à escolha correta de espécies. Elas devem ser adaptadas ao clima e suportar os estresses fisiológicos do cultivo (GROWING GREEN GUIDE, 2014). A tolerância ao frio em regiões de clima subtropical, onde ocorrem geadas severas entre os meses de maio a agosto (SIMEPAR, 2017), é fator fundamental para elencar as espécies. E, principalmente, a resistência a substratos encharcados, pois em épocas chuvosas de novembro a janeiro (SIMEPAR, 2017) observa-se tal condição. Essas condições são muito danosas à vegetação, visto que estresse por baixas temperaturas e encharcamento do substrato são fatores limitantes e as plantas demandam energias em processos metabólicos desgastantes (TAIZ; ZEIGER, 2017) tornando-as enfraquecidas e consequentemente diminuindo as áreas de cobertura vegetal.

Em telhados verdes extensivos é necessário área de cobertura vegetal plena ao longo de todas as estações do ano, atingindo valores acima de 80% (BEVILACQUA et al., 2015). Dessa forma, é necessário selecionar espécies adequadas (GREEN ROOF CODE, 2014). As espécies escolhidas para essa pesquisa foram selecionadas por demonstrarem potencial de cultivo em regiões de clima frio, em zonas de altitude onde o estabelecimento e desenvolvimento é mais propício às suas exigências, além de apresentarem florescimento exuberante (LORENZI, 2013). Essas caraterísticas podem promover o benefício estético dos

telhados verdes extensivos, além de proporcionar cobertura vegetal ao longo das estações do ano.

Aptenia cordifolia Schwantes é indicada para telhados verdes extensivos por empresas como Instituto Cidade Jardim (2017), porém para climas tropicais; *Echeveria elegans* Rose por ser uma espécie de fisiologia CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), que apesar de ser suculenta, tolera baixas temperaturas (LORENZI, 2013); *Gazania rigens* Gaertn. prefere climas frios e atrai polinizadores com sua floração intensa (LORENZI, 2013); *Lysimachia congestiflora* Hemsl. apresenta caraterística reptante e ramificações abundantes (LORENZI, 2013), importante para promover cobertura vegetal; *Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker Gawl. apresenta tolerância a ambientes de pleno sol e meia-sombra (LORENZI, 2013), condições encontradas nos grandes centros urbanos; *Osteospermum ecklonis* (DC.) Norl. é uma rizomatosa entouceirada que aprecia o frio (LORENZI, 2013); *Oxalis vulcanicola* (Donn. Sm.) Lourteig expressa seu potencial de cultivo em regiões de altitude (LORENZI, 2013), e por meio de seus estolões propicia propagação ao longo do cultivo e *Zephyranthes candida* (Lindl.) Herb. apresenta florescimento abundante em regiões de clima ameno (LORENZI, 2013).

Esta pesquisa foi desenvolvida com o intuito de avaliar a cobertura vegetal em telhados verdes extensivos ao longo de um ano, propiciada por espécies comercializadas localmente e indicadas para regiões subtropicais.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Centro de Estações Experimentais da Universidade Federal do Paraná – UFPR (latitude: 25°39'41" S, longitude: 49°11'41"W e a altitude: 895 m), entre os meses de julho de 2015 a julho de 2016. O clima do local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, com geadas frequentes (IAPAR, 2017).

Em uma primeira etapa do trabalho, foi desenvolvida nova composição de substrato e analisadas suas propriedades físicas e químicas. Como substrato foi utilizado esterco de aves curtido, húmus, resíduos de podas de jardim e serragem (2: 2: 1: 2) (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do substrato para cultivo em telhados verdes extensivos.

Amostra		
pH	H_2O	7,43
CE	mS cm^{-1}	0,10
DU	kg m^{-3}	692,54
DS	kg m^{-3}	300,95
UA	%	56,55
PT	%	87,10
EA	%	35,62
AFD	%	13,40
AT	%	3,54
AR	%	34,53
CRA (10)	%	51,47
CRA (50)	%	38,07
CRA (100)	%	34,53

DU: densidade úmida; DS: densidade seca; UA: Umidade Atual, pH: determinado em água, diluição 1:5 (v/v); CE: condutividade elétrica obtida em solução 1:5 (v/v); TTSS: 1:10; PT: porosidade total; EA: espaço de aeração; AFD: água facilmente disponível; AT: água tamponante; AR: água remanescente; CRA10, 50 e 100: capacidade de retenção de água sob tensão de 10, 50 e 100 hPa determinado em base volumétrica.

No preparo da composição do substrato procedeu-se, previamente, a separação e pesagem dos materiais sendo acondicionados em sacos de polietileno de baixa densidade, com capacidade de 2,5 L. A seguir, a amostra foi enviada para análises físicas e químicas no Laboratório de Substratos para Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Oito protótipos simulando um telhado verde extensivo, a pleno sol, foram construídos com altura total de 1,00 m e dimensões de 2,50 por 0,60 m e inclinação de 5%. As bancadas foram cobertas com telhas de fibrocimento (8 mm), impermeabilizadas com polietileno de baixa densidade, e receberam uma camada de argila expandida rígida (20 mm) coberta por manta geotêxtil. A dimensão de cada unidade experimental (parcela) foi de 0,60 por 0,60 m. Em cada parcela foram plantadas 13 mudas, de cada espécie, com espaçamento de 0,10 m onde a profundidade inicial dos substratos era de 0,08 m. As espécies encontravam-se com, aproximadamente, 6 cm e o plantio foi efetuado em junho de 2016. As repetições foram compostas de 5 parcelas ou repetições para cada espécie, somando-se 40 unidades experimentais. Os substratos foram irrigados somente nos primeiros 15 dias.

As variáveis analisadas foram cobertura vegetal, sobrevivência das plantas e tempo para cobertura vegetal da área. A cobertura vegetal foi determinada por meio de fotografias tiradas a cada 15 dias, em tripé de policloreto de vinila posicionado em cima das estruturas. As fotografias foram analisadas no *software* ImageJ®. Para avaliar sobrevivência foi contado o número de plantas remanescentes, ao final da pesquisa. O período necessário para cobertura vegetal da área de cada parcela foi calculado juntamente com a cobertura vegetal, por meio das imagens. Os dados meteorológicos utilizados na discussão dos resultados foram coletados na Estação Meteorológica do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), localizada a aproximadamente de 0,5 km da pesquisa.

A pesquisa foi organizada em delineamento inteiramente casualizado, com oito espécies, sendo cinco repetições de cada tratamento (espécie), totalizando 40 parcelas experimentais. Cada parcela foi dividida em quadrantes de 0,06 x 0,60 m. Os resultados da cobertura vegetal foram submetidos à análise de variância e as médias, de cada espécie, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, por meio do *software* Assistat® versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2009).

6.3 RESULTADOS

As plantas enfrentaram amplitude térmica e oscilações constantes na precipitação (Figura 1), havendo perdas logo no início da pesquisa. As espécies, *E. elegans* e *O. japonicus* alcançaram cobertura vegetal, conforme recomendado pela literatura (BEVILACQUA et al., 2015). As demais espécies foram apresentando perdas e cedendo espaço para o estabelecimento de plantas espontâneas.

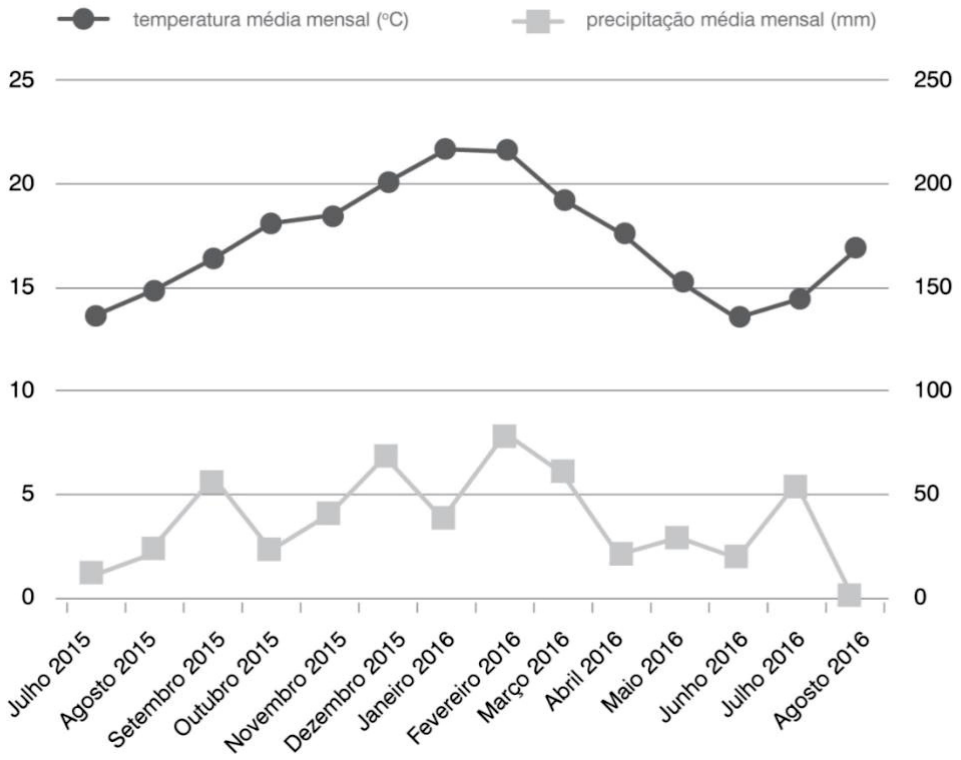


Figura 1. Temperatura e precipitação observadas em julho de 2015 a agosto de 2016, em Pinhais, PR. Fonte: SIMEPAR.

No início, as plantas encontravam-se em fase de crescimento, sendo a cobertura vegetal em torno de 15% da superfície. Cada espécie foi demonstrando seu potencial nas estações do ano, respondendo de forma diferente.

A espécie A. cordifolia demonstrou potencial de uso entre os meses de dezembro a fevereiro, pois apresentou cobertura vegetal acima de 80% (Figura 2). Dessa maneira, poderia ser utilizada em conjunto com outra vegetação com crescimento no período do inverno.

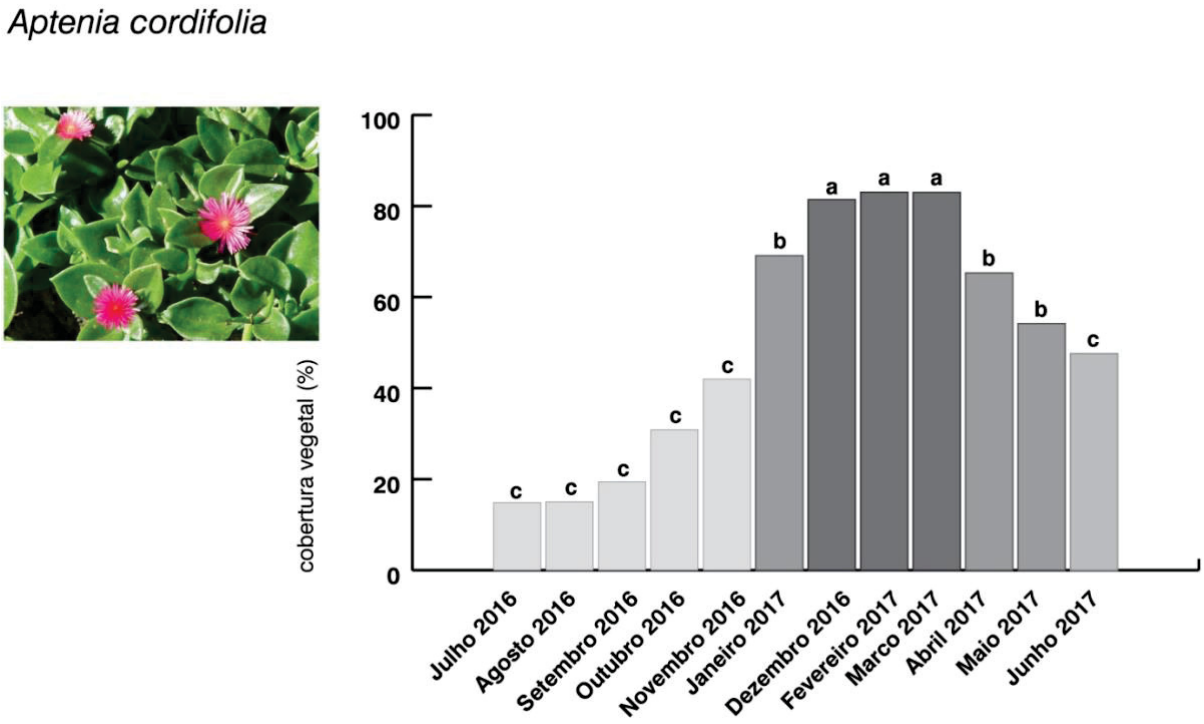


Figura 2. Cobertura vegetal (%) de *Aptenia cordifolia*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

Embora a literatura considere que *A. cordifolia* seja tolerante ao déficit hídrico (LORENZI, 2013), não foi resistente na condição de pleno sol e não demonstrou potencial de cobertura vegetal ao longo da pesquisa (Figura 2). Essa espécie promoveu cobertura nos meses mais quentes, quando as condições climáticas se apresentaram com temperaturas mais altas. Após esse período, *A. cordifolia* foi perdendo vigor e diminuindo a cobertura vegetal. O tempo para estabelecimento, ou seja, atingir 80% da cobertura vegetal encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo observado para atingir cobertura vegetal total da área experimental e taxa de sobrevivência de espécies ornamentais em telhado verde extensivo (Pinhais, PR).

Espécie	Período para cobertura vegetal total da área (meses)	Sobrevivência ao final da pesquisa (%)
Aptenia cordifolia	6	37
Echeveria elegans	5	100
Gazania rigens	0	20
Lysimachia congestiflora	0	20
Ophiopogon japonicus	7	100
Osteospermum ecklonis	0	46
Oxalis vulcanicola	0	25
Zephyranthes candida	0	10

E. elegans foi a espécie que obteve o melhor estabelecimento, pois desde que foi plantada nos telhados verdes, apresentou cobertura vegetal (Tabela 1) e cobriu todas as parcelas. No verão, apresentou exuberância no crescimento, com brotações e floração, invadindo até mesmo as parcelas vizinhas. Não houve mortalidade nesse tratamento (Tabela 2). Essa espécie é indicada, pois sua cobertura vegetal atinge os valores recomendados e mantém-se vigorosa ao longo do cultivo.

Echeveria elegans

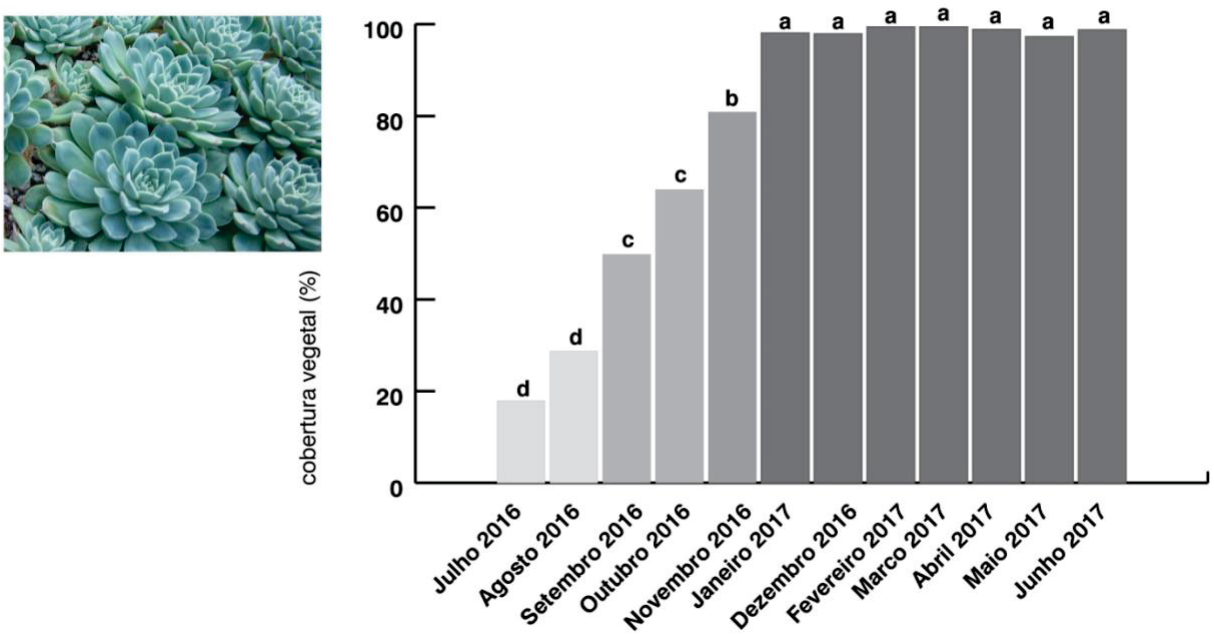


Figura 3. Cobertura vegetal (%) de *Echeveria elegans*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

A espécie *G. rigens*, além de não apresentar cobertura vegetal (Figura 4), não seria indicada para cultivo em grupos pelo seu padrão de desenvolvimento nos telhados verdes dessa pesquisa. Observou-se pequeno crescimento e estabelecimento de plantas espontâneas (Figura 11) na superfície descoberta do substrato.

Gazania rigens

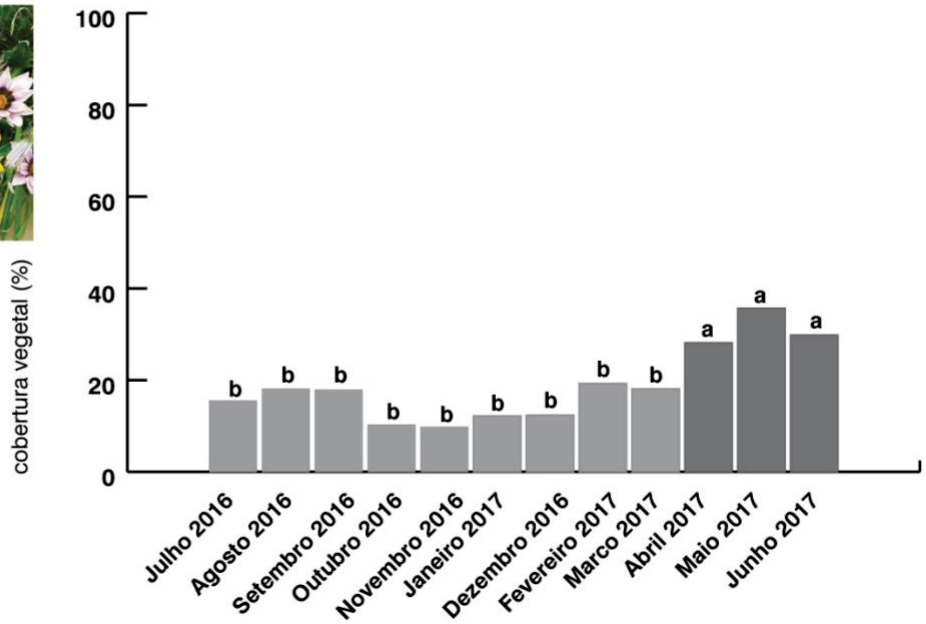


Figura 4. Cobertura vegetal (%) de *Gazania rigens*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

O mesmo comportamento foi verificado para L. congestiflora, onde, em apenas dois meses, observou-se cobertura vegetal de metade da área experimental (Figura 5).

Lysimachia congestiflora

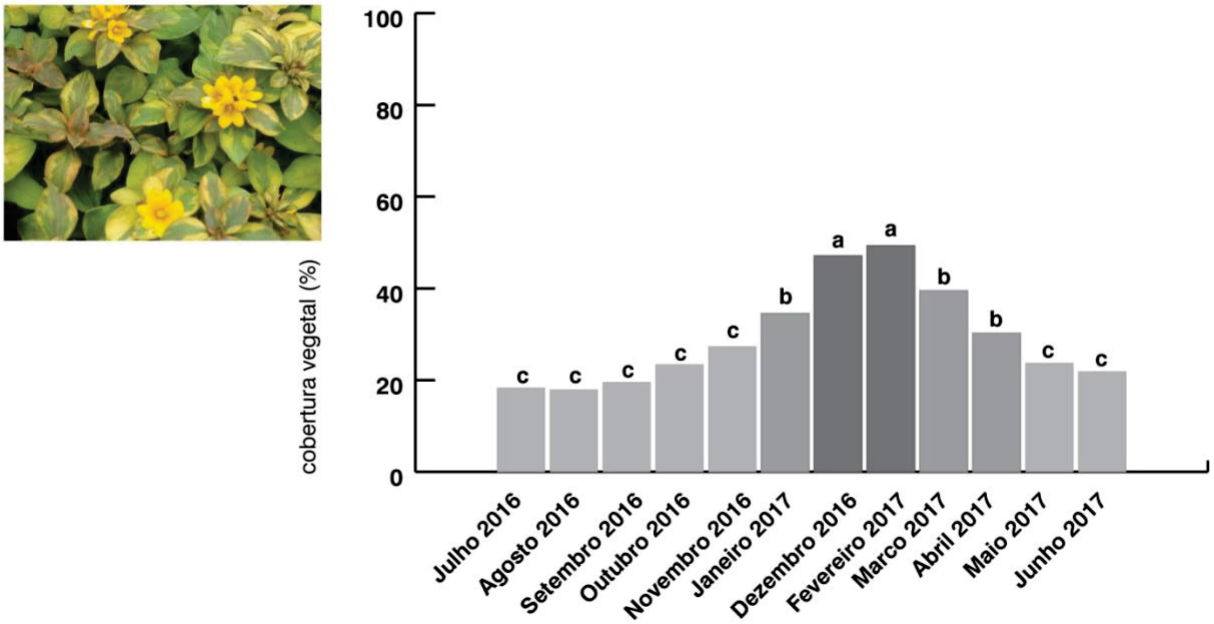


Figura 5. Cobertura vegetal (%) de *Lysimachia congestiflora*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

O. japonicus obteve cobertura vegetal em torno de 100% ao longo de toda a pesquisa (Figura 6). Essa espécie é indicada para uso em telhados verdes extensivos em regiões subtropicais, por tolerar as condições climáticas (Figura 1) e proporcionar cobertura vegetal em todas as estações do ano. Não foram observadas perdas em plantas.

Essa espécie foi considerada com rusticidade e adaptação ao cultivo em telhados verdes extensivos.

Ophiopogon japonicus

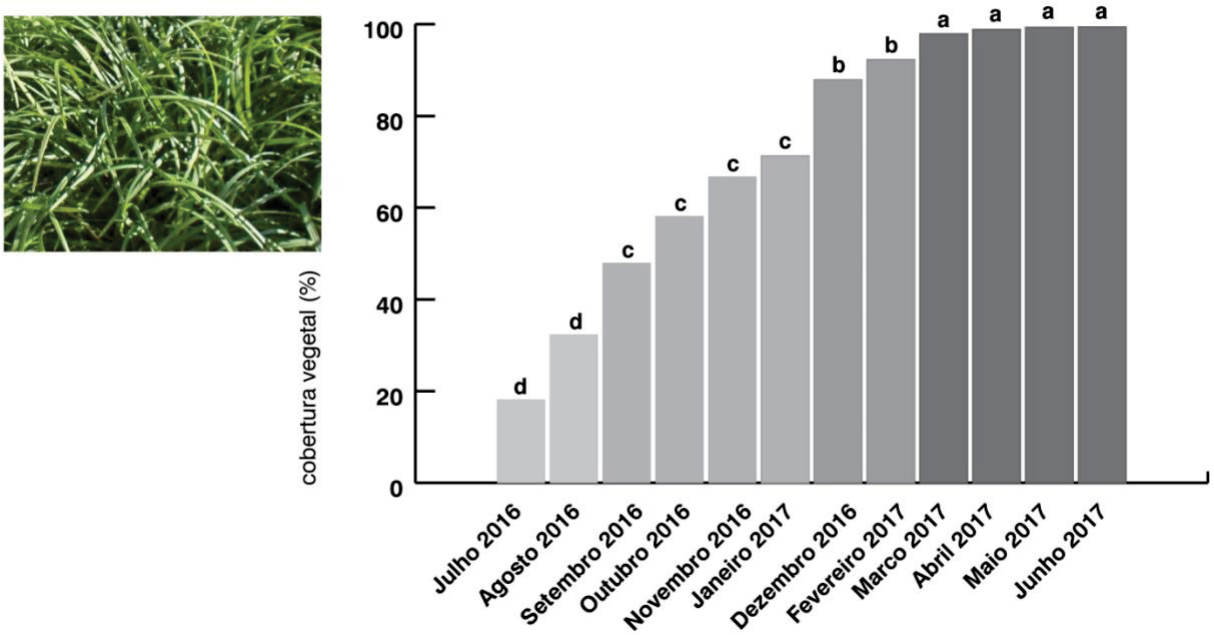


Figura 6. Cobertura vegetal (%) de *Ophiopogon japonicus*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

O. ecklonis, uma Asteraceae que aprecia o frio, não tolerou períodos de seca (Figura 1). Elas são tolerantes às geadas e suscetíveis ao encharcamento por longos períodos (LORENZI, 2013). No entanto, demonstrou falta de vigor e pouca cobertura vegetal, pois seu crescimento não atingiu 50% de cobertura vegetal (Figura 7). A taxa de mortalidade foi de 46%. Seria indicada apenas com o uso de outras vegetações, formando conjuntos.

Osteospermum ecklonis

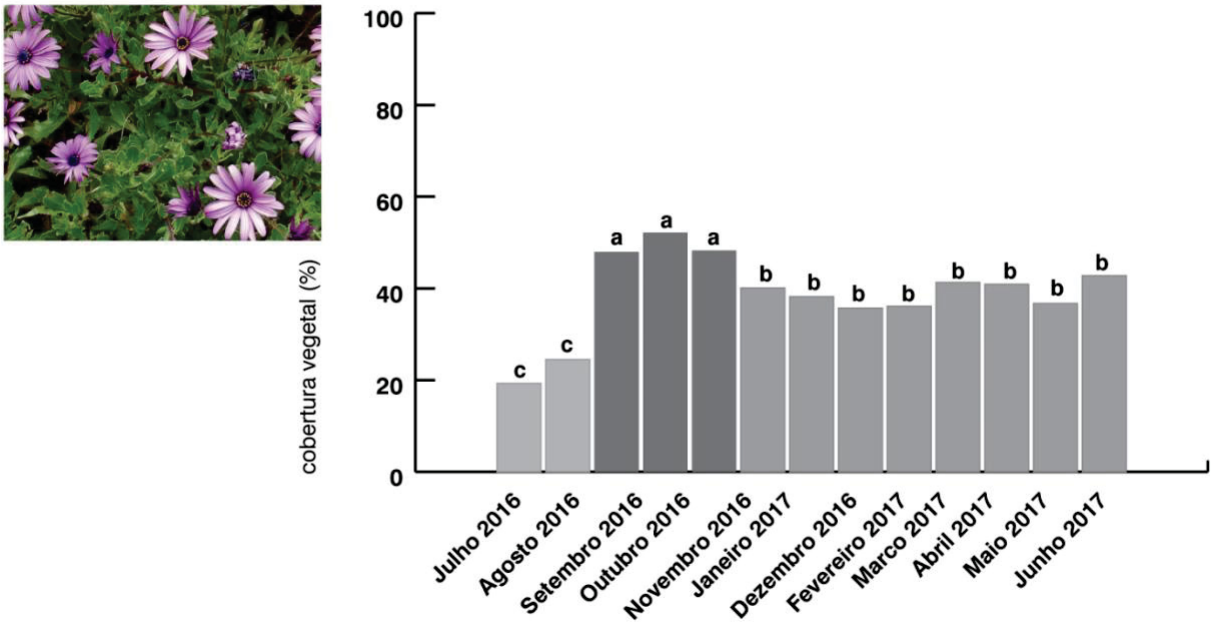
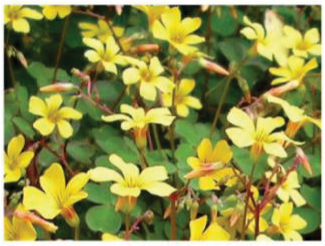


Figura 7. Cobertura vegetal (%) de *Osteospermum ecklonis*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

O. vulcanicola não é indicada para cultivo isolado em telhados verdes extensivos por não apresentar cobertura vegetal em todas as estações do ano (Figura 8). Apresentou 75% de mortalidade de plantas. Dessa maneira, espécies que fornecem espaços vazios para que outras plantas se estabeleçam não devem ser utilizados em telhados verdes extensivos, onde a necessidade de cobertura vegetal ao longo do tempo é uma premissa.

Oxalis vulcanicola



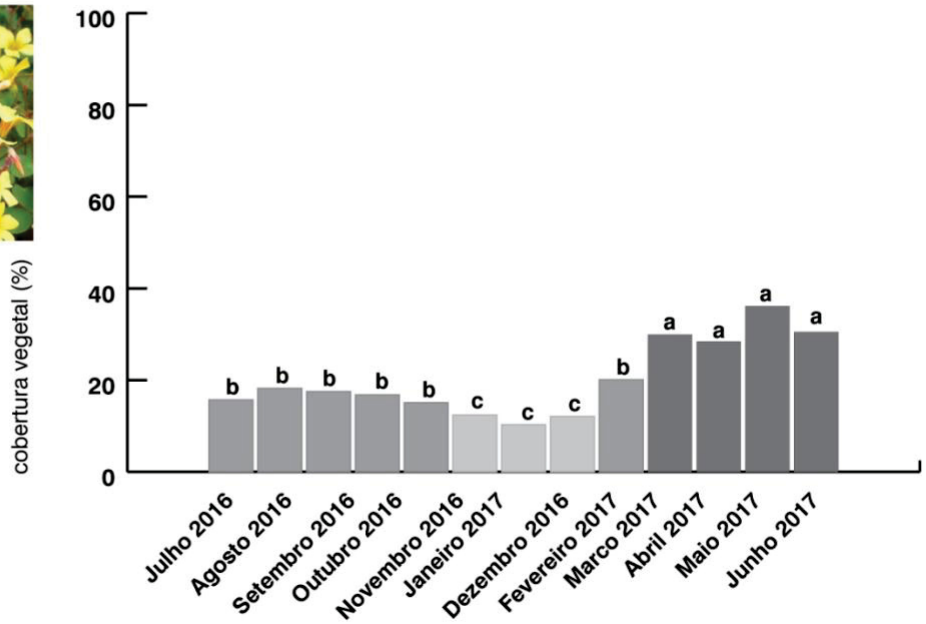


Figura 8. Cobertura vegetal (%) de *Oxalis vulcanicola*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

Z. candida pode ter tido seu desenvolvimento afetado pelas condições de umidade no substrato, logo no início do estabelecimento. A cobertura vegetal não atingiu 40% em toda a pesquisa (Figura 9). Além da mortalidade observada de quase 90% (Tabela 2).

Zephyranthes candida

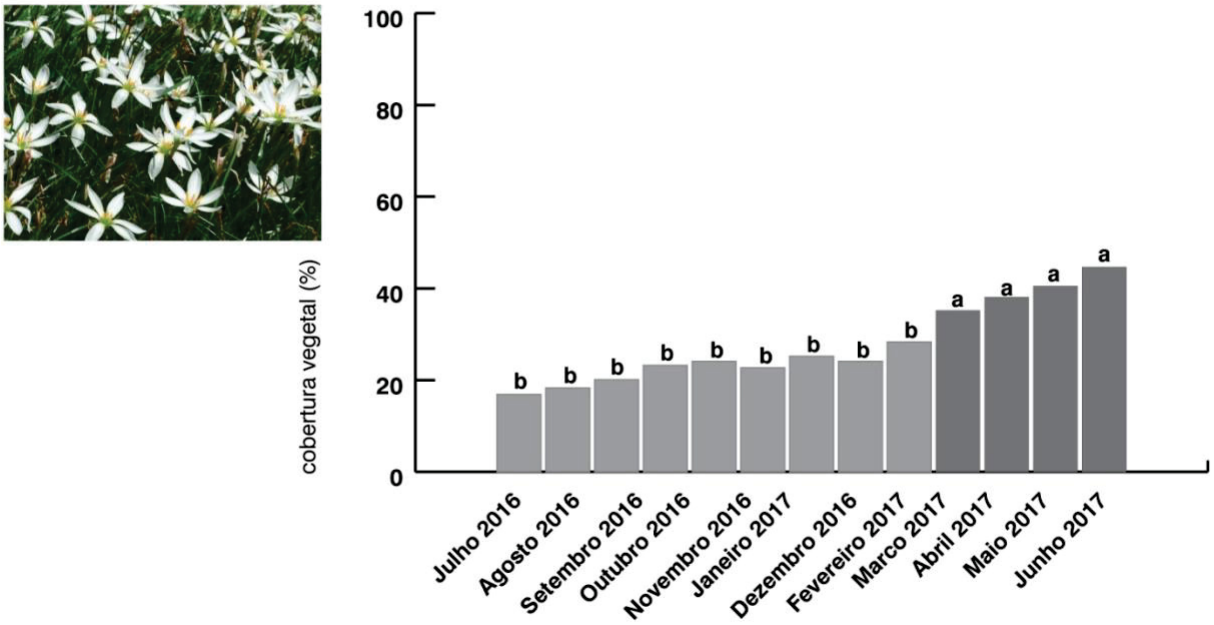


Figura 9. Cobertura vegetal (%) de *Zephyranthes candida*, compreendida entre os meses de julho de 2016 a junho de 2017, Pinhais, PR.

As espécies suculentas, *E. elegans* e *A. cordifolia* poderiam formar conjuntos em telhados verdes extensivos, pois fornecem cobertura vegetal (Figura 10). Assim, quando *A. cordifolia* perde cobertura vegetal, *E. elegans* promoveria essa cobertura e seriam plantas companheiras, com a mesma fisiologia e eficiência no uso da água, fator importante quando se observam as condições limitadas inerentes aos telhados verdes.

Figura 10. Vista geral de experimento com *Echeveria elegans* e *Aptenia cordifolia* em telhado verde extensivo, Pinhais, PR.

G. rigens e *L. congestiflora* possivelmente sofreram com déficit hídrico, pois houve mortalidade de 80% logo no período de estabelecimento, primeiros dois meses. Essas espécies necessitam de irrigação periódica (LORENZI, 2013) e no período de implantação dos telhados verdes observou-se baixa precipitação (Figura 1). Observou-se, visualmente, nesses tratamentos o estabelecimento de espécies espontâneas nos espaços vazios (Figura 11).

Figura 11. Detalhe de cultivo com *Gazania rigens* e *Lysimachia congestiflora*, com estabelecimento de plantas espontâneas nos espaços vazios em telhado verde extensivo, Pinhais, PR.

6.4 DISCUSSÃO

As espécies herbáceas ornamentais escolhidas, mesmo resistentes ao frio (LORENZI, 2013), não apresentaram o comportamento verificado em jardins no solo. Provavelmente, devido à camada de substrato ser menos espessa em telhados verdes extensivos (GREEN ROOF CODE, 2014) e as plantas precisam se adaptar a essas condições.

A influência da evolução da cobertura vegetal, no comportamento em telhados verdes, depende de cada espécie, sua morfologia e fisiologia (BEVILACQUA et al., 2015), fazendo com que esse comportamento tenha sido heterogêneo. Além da diversidade das espécies, o clima influenciou implicando em diferentes taxas de crescimento das plantas.

As plantas que não apresentaram o estabelecimento podem ter tido dificuldades com o suprimento de água, pois logo no início do plantio é fundamental que as plantas consigam absorver e suprir suas necessidades fisiológicas. Mesmo com a irrigação inicial, não foi suficiente para o desenvolvimento.

Dessa maneira, as únicas espécies indicadas para cultivo em telhados verdes extensivos foram *E. elegans* e *O. japonicus*, por demonstrarem potencial de cobertura vegetal plena em todas as estações do ano. Tais espécies poderiam formar conjuntos em telhados verdes biodiversos, assim forneceriam cobertura vegetal contribuindo não só na estética quanto em diversidade de espécies (BUTLER; BUTLER; ORIANS, 2012).

Uma boa cobertura vegetal em telhados verdes extensivos está acima de 80% (BEVILACQUA et al., 2015; LI; YEUNG, 2014) e para que isso aconteça é necessário que as espécies sejam resistentes aos fatores climáticos da região onde serão implantadas. Nesse caso, as espécies *A. cordifolia*, *G. rigens*, *L. congestiflora*, *O. ecklonis*, *O. vulcanicola* e *Z. candida* não seriam vegetações adequadas para o plantio isolado em telhados verdes extensivos na região de Curitiba.

Os benefícios de um telhado verde só serão alcançados quando houver diversidade de espécies. No entanto, são necessárias pesquisas preliminares com as espécies para verificar seu estabelecimento nesse cultivo. Assim, é fundamental observar o desenvolvimento individual de cada espécie, sem promover a

comparação entre elas, e sim encontrar seus máximos potenciais de uso posterior em conjunto.

6.5 CONCLUSÕES

As espécies *Echeveria elegans* e *Ophiopogon japonicus* são indicadas para uso em telhados verdes extensivos, por apresentarem cobertura vegetal acima de 80% e podem ser cultivadas na região de Curitiba.

REFERÊNCIAS

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 1, p. 915-939, 2018.

BEVILACQUA P.; COMA, J.; PEREZ, G; CHOCARRO, C.; JUÁREZ, A.; SOLÉ, C.; DE SIMONE, M.; CABEZA, L. F. Plant cover and floristic composition effect on thermal behavior of extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 305-316, 2015.

BUTLER, C.; BUTLER, E.; ORIANS, C. M. Native plant enthusiasm reaches new heights: perceptions, evidence and the future of green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, p. 1-10, 2012.

GREEN ROOF CODE. **The GRO green roof code**: Green Roof Code of Best Practice for the UK. 2 ed. Sheffield: Groundwork Sheffield, 2014. 28p.

GREEN ROOF REPORT. **The benefits and challenges of green roofs on public and commercial buildings**: A report of the United States general services administration. GSA, 2011.

GROWING GREEN GUIDE. **A guide to green roofs, walls and facades**, In Melbourne and Victoria, Australia. National Library of Australia Cataloguing in Publication data, 2014. 131 p.

IAPAR- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>. Acesso em: 06 nov. 2017.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. Produtos para telhado verde. Disponível em: < http://www.studiocidadejardim.com.br/produtos-para-telhado-verde>. Acesso em 08 nov. 2017.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 127-134, 2014.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil**: herbáceas, arbustivas e trepadeiras. 8 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2013.

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; SCHAFER, G.; ARMINDO, R. A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 662-669, 2017.

ROOF-GREENING GUIDELINE. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. FLL, download edition, Bonn, January 2010.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the Software Assistat-Statistical attendance. *In*: World Congress on Computers in Agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SIMEPAR. **Sistema Meteorológico do Paraná**. Disponível em: <http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/meteorologia/clima_estacoes/arquivos/outono2016.pdf> Acesso em: 16 nov. 2017.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo com telhados verdes no Brasil necessita de um longo caminho até que as pesquisas se tornem solidificadas, pois sendo um país com diversidade de biomas é fundamental que cada região tenha suas espécies e substratos ideais para o cultivo.

O uso de micorrizas merece especial atenção nesses cultivos, por ser natural e fornecer aumento de cobertura vegetal. Essa simbiose é muito positiva do ponto de vista fisiológico de absorção de nutrientes.

Outro fator que precisa ser constantemente pesquisado é o consorciamento de espécies e avaliação de possível interação alelopática nesses sistemas. Principalmente, pela resposta ao clima, algumas espécies apresentaram cobertura vegetal que as tornam eficientes para uso em consórcio.

Quando uma espécie não proporciona cobertura vegetal total da área, ela pode ser utilizada em consórcio com outras espécies potenciais, tornando o telhado biodiverso. Essa categoria de telhados verdes é considerada extremamente importante nas zonas urbanas, pois traz a biodiversidade que vem se perdendo nesses centros.

Dessa forma, se os cultivos forem implantados com espécies resistentes aos estresses inerentes aos telhados verdes, pode haver aumento da diversidade tanto em flora quanto fauna.

Os experimentos dessa tese foram desenvolvidos a fim de subsidiar a implantação de telhados verdes extensivos, que proporcionassem baixo custo. Assim, foi possível estabelecer um substrato de fácil acesso e que utilizasse material barato como o esterco curtido de aves e a serragem.

A partir desse resultado, foram realizadas pesquisas com o intuito de melhorar a qualidade do substrato e elencar espécies naturalmente rústicas e disponíveis na floricultura local.

Como resultado obtiveram-se dados iniciais de um tema pouco estudado no Brasil e com muitas lacunas para serem preenchidas.

REFERÊNCIAS

AGROMIC: **Sistemas biológicos.** Disponível em: < http://www.agromic.com.br/produtos/nutricao-de-plantas/micofert-e-myke-pror>. Acesso em: 28 jan. 2015.

AMPIM, P. A. Y.; SLOAN, J.J.; CABRERA, R. I.; HARP, D. A.; JABER, F. H. Green roof growing substrates: types, ingredients, composition and properties. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 28, n. 4, p. 244-252, 2010.

BERBARA, L. L. R.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. **Fungos micorrízicos arbusculares**: muito além da nutrição. SBCS, Viçosa, 2006. 432p.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a rewiew. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 351-360, 2010.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 1, p. 915-939, 2018.

BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and Environment**, v. 48, p. 57-65, 2012.

BLANK, L.; VASL, A.; LEVY, S.; GRANT, G.; KADAS, G.; DAFNI, A.; BLAUSTEIN, L. Directions in green roof research: A bibliometric study. **Building and Environment**, v. 66, p. 23-28, 2013.

BRASIL. Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 maio. Seção 1, p.8.

BUTLER, C.; ORIANS, C. M. *Sedum* cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 11, p. 1796-1803, 2011**.**

BARRA, E. **Paisagens úteis**: escritos sobre paisagismo. São Paulo: SENAC, 2006. 139 p. il.

BEATRICE, C. C. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. Tese (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Carlos - SP.

BERARDI, U; GHAFFARIANHOSEINI, A. H.; GHAFFARIANHOSEINI*, A*. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, p. 411-428, 2014.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 1, p. 915-939, 2018.

BEVILACQUA P.; COMA, J.; PEREZ, G; CHOCARRO, C.; JUÁREZ, A.; SOLÉ, C.; DE SIMONE, M.; CABEZA, L. F. Plant cover and floristic composition effect on thermal behavior of extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 305-316, 2015.

BLANK, L.; VASL, A.; LEVY, S.; GRANT, G.; KADAS, G.; DAFNI, A.; BLAUSTEIN, L. Directions in green roof research: A bibliometric study. **Building and Environment**, v. 66, p. 23-28, 2013.

BLANUSA, T.; MONTEIRO, M. M. V.; FANTOZZI, F.; VYSINI, E.; LI, Y.; CAMERON, R. W. F. Alternatives to *Sedum* on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? **Building and Environment**, v. 59, p. 99-106, 2013.

BOSA, N.; CALVETE, E. O.; KLEIN, V. A.; SUZIN, M. Crescimento de mudas de gipsófila em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 514-519, 2003.

BRASIL, Decreto n. 1.703, de 30 nov. de 2011. **Dispõe sobre a instalação do denominado "Telhado Verde" e dá outras providências**, Brasília, novembro, 2011. Disponível em < http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=49931D7F3F902F6D01E7721F9C1917C0.proposicoesWeb1?codteor=893728&filename=PL+1703/2011>. Acesso em: 20 mai 2016.

BUTLER, C.; BUTLER, E.; ORIANS, C. M. Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, p. 1-10, 2012.

CARDOSO, A. F.; CHARLO, H. C. O.; ITO, L. A.; CORÁ, J. E.; BRAZ, L. T. Caracterização física do substrato reutilizado da fibra da casca de coco. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010.

CARVALHO, P. C. F.; SANTOS, D. T.; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A.; NABINGER, C. **Forrageiras de Clima Temperado**. In: Dilermando Miranda da Fonseca; Janaina Azevedo Martuscello. (Org.). Plantas Forrageiras. Viçosa: UFV, 2010, v. 1, p. 494-537.

CASTLETON, H. F.; STOVIN, V.; BECK, S. B. M.; DAVISON, J. B. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 1582-1591, 2010.

CAVINS, T. J.; WHIPKER, B. E.; FONTENO, W. C; HARDEN, B.; McCALL, I.; GIBSON, J. L. **Monitoring and managing pH and EC using the PourThru extraction method**. Raleigh: Horticulture Information, 2000. 17p.

COMA, J.; PÉREZ, G.; SOLÉ, C.; CASTELL, A.; CABEZA, L. F. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. **Renewable Energy**, v. 85, p. 1106-1115, 2016.

CONNELLY, M.; HODGSON, M. Experimental investigation of the sound adsorption characteristics of vegetated roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 335-346, 2015.

CONSTANZO, V.; EVOLA, G.; MARLETTA, L. Energy saving in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 247-255, 2016.

CARRIJO, O. A.; VIDAL, M. C.; REIS, N. V.; SOUZA, R. B.; MAKISHIMA, N. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casa de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, p. 5-9, 2004.

DALANHOL, S. J.; NOGUEIRA, A. C.; GAIAD, S.; KRATZ, D. Efeito de micorrizas e da fertilização no crescimento de mudas de *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg., produzidas em diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 931-945, 2017.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 26, p. 37-44, 1972.

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, p. 588-595, 2007.

FERMINO, M. H.; BELLÉ, S. Substrato para plantas. In: **Plantas ornamentais**: aspectos para a produção/ Claudia Petry (org.). – 2 ed. ver. E ampl. – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 202 p.

FERMINO, M. H.; KAMPF, A. N. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n.1, p. 75-79, 2012.

ECOTELHADO. **Plantas para ecotelhado**. Disponível em < https://ecotelhado.com/produto/ecotelhado-telhado-verde/plantas-2/>. Acesso em: 08 nov. 2017.

ESSI, L.; SILVA, L.N. *Festuca in* **Flora do Brasil 2020 em construção.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB104990>. Acesso em: 10 jan. 2018.

FARZANEH, R.; JARRETT, A.; BERGHAGE, R. D.; BEATTIE, D. J. Evapotranspiration rates from extensive green roof plant species. *In*: Annual International Meeting Sponsored (ASABE), Florida, Estados Unidos, 2005.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B. C. **Amendoim no telhado**: O comportamento da grama amendoim (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Vitória – ES - BRASIL - 7 a 9 de setembro de 2011.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R. S. (Eds.) **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta nas região sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

FRANCIS, L. F. M.; JENSEN, M. B. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 28, p. 167-176, 2017.

GRACESON, A.; HARE, M.; MONAGHAN, J.; HALL, N. The water retention capabilities of growing media for green roofs. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 328–334, 2013.

GRACESON, A.; MONAGHAN, J.; HALL, N.; HARE, M. Plant growth responses to different growing media for green roofs. **Ecological Engineering**, v. 69, p. 196–200, 2014.

GREEN ROOF CODE. **The GRO green roof code**: Green Roof Code of Best Practice for the UK. 2 ed. Sheffield: Groundwork Sheffield, 2014. 28p.

GROWING GREEN GUIDE. **A guide to green roofs, walls and facades**, In Melbourne and Victoria, Australia. National Library of Australia Cataloguing in Publication data, 2014. 131 p.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p.1069-1076, 2004.

HOFFMANN, G. Verbindliche methoden zur untersuchung von TKS und gartnerischen erden. **Mitteilungen der VSLUFA**, [s.l.], v. 6, p. 129-153, 1970.

IAPAR- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>. Acesso em: 06 jan 2016.

IGRA. International Green Roof Association. **Green Roof Types**. Disponível em: < http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em 02 dez. 2017.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. **Produtos para telhado verde**. Disponível em: < http://www.studiocidadejardim.com.br/produtos-para-telhado-verde>. Acesso em 08 nov. 2017.

JARAMILLO-ROBLEDO, A**.** La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Académica Colombiana de Ciencia,** v. 29, p. 371-382, 2005.

JOHN, J.; LUNDHOLM, J.; KERNAGHAN, G. Colonization of green roof plants by mycorrhizal and root endophytic fungi. **Ecological Engineering**, v. 71, p. 651–659, 2014.

JAYASOORIYA, V. M.; NG, A. W. M.; MUTHUKUMARAN, S.; PERERA, B. J. C. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 21, p. 34-47, 2017.

JIANG, L.; TANG, M. Thermal analysis of extensive green roofs combined with night ventilation for space cooling. **Energy and Buildings**, v. 156, n. 1, p. 238-249, 2017.

JIM, C. Y. Green roof evolution trough exemplars: germinal prototypes to modern variants. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 69-82, 2017.

KANECHI, M.; FUJIWARA, S.; SHINTANI, N.; SUZUKI, T.; UNO, Y. Performance of herbaceous *Evolvulus pilosus* on urban green roof in relation to substrate and irrigation. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 13, n. 1, p. 184-191, 2014.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2005. p. 45-72.

KÄMPF, A. N. Relação entre densidade de empacotamento e propriedades físicas de um substrato comercial. *In*: Segundo Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas - ENSub, 2000, Florianópolis. II ENSub - Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas, Programa e Resumos. Florianópolis, 2000. v. 1.

KÄMPF, A. N; FERMINO, M. H. **Substrato para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Genesis, 2000. 312 p.

KERBAUY, G. B. **Fisiología vegetal**. 2 ed. Guanabara Koogan, 2012.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p.1103-1113, 2013.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 127-134, 2014.

LIU, C.; LI, Y.; LI, J. Geographic information system-based assessment of mitigating flash-flood disaster from green roof systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 64, p. 321-331, 2017.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil**. 4ª ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2013.

MACHADO NETO, N. B.; CUSTODIO, C. C.'CARVALHO, P. R.; YAMAMOTO, N. L.; CACCIOLARI, C. Casca de pinus: avaliação da capacidade de retenção de água e fitotoxicidade. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n.1, p. 19-24, 2005.

McGUIRE, K. L.; PAYNE, S. G.; PALMER, M. I.; GILLIKIN, C. M., KEEFE, D.; KIM, S. J.; GEDALLOVICH, S. M.; DISCENZA, J. Digging the New York City skyline: soil fungal communities in green roofs and city parks. **Plos one**, v. 8, 2013.

MENEZES JUNIOR, F. O.; FERNANDES, H. S.; MAUCH, C. R.; SILVA, J. B. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido**. Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 164-170, 2000.

MEURER, E. J. **Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas.** In: SBCS, Viçosa, p. 65-90, 2007.

MOLINEUX, C. J.; GANGE, A. C.; CONNOP, S. P.; NEWPORT, D. J. Using recycled aggregates in green roof substrates for plant diversity. **Ecological Engineering**, v. 82, p. 596-604, 2015.

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; ARMINDO, R. A.; SOUZA, J. L. M. Cultivo de *Stenachaenium megapotamicum* em diferentes regimes de irrigação. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 79-84, 2014.

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; SCHAFER, G.; ARMINDO, R. A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 662-669, 2017.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B. COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KOHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions and services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.

OLLY, L. M.; BATES, A. J.; SADLER, J. P.; MACKAY, R. An initial experimental assessment of the influence of substrate depth on floral assemblage for extensive green roofs. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 10, p. 311-316, 2011.

ONDOÑO, S.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J.; MORENO, J. L. The composition and depth of green roof substrates affect the growth of *Silene vulgaris* and *Lagurus ovatus* species and the C and N sequestration under two irrigation conditions. **Journal of Environmental Management**, v.166, p. 330-340, 2016.

PAULUS, D.; PAULUS, E. Efeito de substratos agrícolas na produção de mudas de hortelã propagadas por estaquia. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 594-597, 2007.

PENG, L.L., JIM, C.Y., Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. **Energies**, v. 6, p. 598-618, 2013.

POOROVA, Z.; VRANAY, F.; ALHOSNI, M. S.; VRANAYOVA, Z. Importance of different vegetation used on green roofs in terms of lowering temperature and water retention. **Procedia Engineering**, v. 162, p. 39-44, 2016.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2 ed. Revisada e ampliada. Curitiba: C. L. Prevedello, 2015. 474 p.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; KAZEMI, F. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. **Science of the Total Environment**, v. 476-477, p. 288-297, 2014.

REZENDE, C. P.; PINTO, J. C.; EVANGELISTA, A. R.; SANTOS, I. P. **A. Alelopatia e suas interações na formação e manejo de pastagem**. Boletim Técnico 54, editora UFLA, 2010.

RECIFE, Decreto n. 18.112/2015, de 12 de jan. de 2015. **Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências**. Recife, janeiro de 2015. Disponível em: < https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>. Acesso em: 03 dez. 2017.

RIO GRANDE DO SUL, Decreto n. 734, de 24 de jan. de 2014. **Uso de telhado verde sobre lajes e demais coberturas do último pavimento de edificações.** Porto Alegre, janeiro de 2014. Disponível em: < http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nphbrs?s1=000033871.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>. Acesso em: 03 dez. 2017.

ROOF-GREENING GUIDELINE. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. FLL, download edition, Bonn, January 2010.

ROWE, D. B.; GETTER, K. L.; DURHMAN, A. K. Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. **Landscape and Urban Planning**, v. 104, p. 310-319, 2012.

RUMBLE, H.; GANGE, A. C. Soil microarthropod community dynamics in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 197–204, 2013.

SALVADOR, F. L. **Germinação e emergência de plantas daninhas em função da luz e da palha de cana-de-açucar (*Saccharum spp*)**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2010. **Dispõe sobre a implementação de sistemas de naturação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina**. ALESC/Coord. Documentação Procedência: Dep. Professor Grando. Florianópolis, Natureza: PL. 170/07 DO: 18.265 de 11 dez. 2010.

SÃO PAULO. Projeto de Lei 01-0622/2008 do Vereador NATALINI (PSDB). **Dispõe sobre a concessão de isenção parcial de impostos predial e territorial urbano - IPTU - incidentes sobre imóveis que sejam construídos ou adaptados com as medidas de proteção ambiental que especifica, institui o programa "edificação ecológica", e dá outras providências**. Disponível em: www.natalini.com.br/arquivos/projetosdelei/PL0622-2008.pdf Acesso em: 27 set. 2015.

SIQUEIRA, J.O; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, n.5, p. 245-255, 2001.

SCHAFER, G.; SOUZA, P. V. D.; FIOR, C. S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n.3, p. 299-306, 2015.

SCHMITZ, J. A.; SOUZA, P. V.; KAMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.

SCOTT-MACIVOR, J.; MARGOLIS, L.; PEROTTO, M.; DRAKE, J. A. P. Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 36-42, 2016.

SKYGARDEN. **Opções de plantas** – Telhados verdes. Disponível em: < http://www.skygarden.com.br/index.php/telhados-verdes/opcoes-de-plantas>. Acesso em: 21 jan. 2018.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the Software Assistat-Statistical attendance. *In*: World Congress on Computers in Agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, C. M.; FLORES-COLEN, I.'COELHO, A. Green roofs in Mediterranean areas – survey and maintenance planning. **Building and Environment**, v. 94, p. 131-143, 2015.

SIMEPAR. **Sistema Meteorológico do Paraná**. Disponível em: <http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/meteorologia/clima_estacoes/arquivos/outono2016.pdf> Acesso em: 16 jan 2016.

SODRÉ, G. A.; CORÁ, J. E.; SOUZA JÚNIOR, J. O. Caracterização física de substratos à base de serragem e recipientes para crescimento de mudas de cacaueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 339-314, 2007.

SOUZA, P. V.; CARNIEL, E.; FOCHESATO, M. L. Efeito da composição do substrato no enraizamento de estacas de maracujazeiro azedo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 276-279, 2006.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SPANGENBERG, J. **Nature in megacities** – São Paulo/Brasil: a case study. São Paulo/Weimar, 2010. 162p.

SPALA, A.; BAGIORGAS, H. S.; ASSIMAKOPOULOS, M. N.; KALAVROUZIOLIS, J.; MATTHOPOULOS, D.; MIHALAKAKOU, G. On the green roof syxtem. Selection, state of the art and energy potencial investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. **Renewable Energy**, v. 33, n. 1, p. 173-177, 2008.

STUMPF, M. **Dinheiro em penca** (*Callisia repens*). Disponível em: < http://www.fazfacil.com.br/jardim/dinheiro-em-penca-callisia/>. Acesso em: 01 fev. 2018.

SUN, T.; BOU-ZEID, E.; WANG, Z. H.; ZERBA, E.; Ni, G. H. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. **Building and Environment**, v. 60, p. 211-224, 2013.

SUSCA, T.; GAFFIN, S. R.; DELL'OSSO, G. R. Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8-9, p. 2119-2126, 2011.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

TAKEBAYASHI, H. MORIYAMA, M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. **Building and Environment**, v. 42, n. 8, p. 2971-2979, 2007.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V.; COLOMBI, R.; PERONI, L.; GODINHO, T. O. Estercos de origem animal em substratos para a produção de mudas florestais: atributos físicos e químicos. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 455-462, 2012.

VIEIRA, M.; PAULETO, E. A. Avaliação de atributos físicos do substrato casca de arroz (*Oryza sativa* L.) carbonizada e tratada com polímeros hidrofílicos sintéticos. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 1-6, 2009.

WANG, H.; QIN, J.; HU, Y. Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? **Ecological Engineering**, v. 107, p. 65-70, 2017.

YANG, H. S.; KANG, J.; CHOI, M. S. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building and Environment**, v. 50, p. 44-55, 2012.

YANG, W.; WANG, Z.; CUI, J.; ZHU, Z.; ZHAO, X. Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. **Sustainable Cities and Society**, v. 16, p. 1-12, 2015.

YOUNG, T.; CAMERON, D. D.; PHOENIX, G. K. Using AMF inoculum to improve the nutritional status of *Prunela vulgaris* plants in green roof substrate during establishment. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, p. 959-967, 2015.

YOUNG, T.; CAMERON, D. D.; SORRILL, J.; EDWARDS, T.; PHOENIX, G. K. Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 3, p. 507-516, 2014.

ZINZI, M.; AGNOLI, S. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 66-76, 2012.