



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE



ELY EWERTON AMORIM LOPES

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DO TELHADO VERDE: REGULAÇÃO DO
CICLO HIDROLÓGICO E MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE URBANA**

JOÃO PESSOA

2022

ELY EWERTON AMORIM LOPES

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DO TELHADO VERDE: REGULAÇÃO DO
CICLO HIDROLÓGICO E MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE URBANA**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Desenvolvimento e
Meio Ambiente da Universidade Federal
da Paraíba, para obtenção do título de
Mestre.

Orientadora: Dra. DENISE DIAS DA
CRUZ

Co-orientador: Dr. GUSTAVO
BARBOSA LIMA DA SILVA

JOÃO PESSOA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L864s Lopes, Ely Ewerton Amorim.

Serviços ecossistêmicos do telhado verde : regulação do ciclo hidrológico e manutenção da biodiversidade urbana / Ely Ewerton Amorim Lopes. - João Pessoa, 2022. 126 f. : il.

Orientação: Denise Dias da Cruz.

Coorientação: Gustavo Barbosa Lima da Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/PRODEMA.

1. Polinização urbana. 2. Infraestrutura verde. 3. Plantas ruderais. 4. Desempenho hidrológico. 5. Profissionais da construção - Percepção ambiental. I. Cruz, Denise Dias da. II. Silva, Gustavo Barbosa Lima da. III. Título.

UFPB/BC

CDU 581.162.3(043)

Dedico aos maiores,
minha mãe e meu pai



AGRADECIMENTOS

O presente trabalho contou com a colaboração de diversas pessoas que foram fundamentais para realização. Assim, agradeço...

A professora Denise pela paciência e empenho em me orientar, por ampliar minha visão sobre ecologia e pelo bom exemplo;

Ao professor Gustavo por me orientar desde a iniciação científica e me apoiar em mais uma etapa acadêmica;

A Hugo e ao meu irmão David pela parceria, disposição, alegria e realização em todas as etapas do projeto, incluindo todos os por-menores-que-são-muitos na concepção, montagem, monitoramento e análise dos resultados;

A meu pai Ely e minha mãe Angélica por serem uma base firme na minha vida e por contribuírem com esse projeto à medida que dificuldades surgiram;

A Amanda pela alegre companhia no dia a dia, que em vários momentos foram etapas da execução do projeto,

A Dona Neide, Seu Neno, Levi e família e a Alex e família por disporem espaço em suas casas para montagem os telhados verdes e por nos receberem de bom coração para realizarmos monitoramento,

A Chicão pelo preparo do substrato, a Luis Otavio pelo transporte de materiais, a Mateus por permitir utilizarmos sua serralharia e a Luiz Henrique por colaborar com a ideia dos protótipos e colaborar com a montagem,

A Augusto e Augusto Filho da Flora Plantas e Segmentos pela boa intenção de vender os materiais a preço de custo, a Carmelo do Viveiro Municipal pela doação da cobertura vegetal e a Silvana da EMPASA pela doação do composto;

Ao professor Fernando, a Nildo e aos profissionais que compõem o PRODEMA, DSE, DBM e FABLAB que através da boa vontade no acesso as instalações e aos recursos colaboraram com a execução desse projeto.

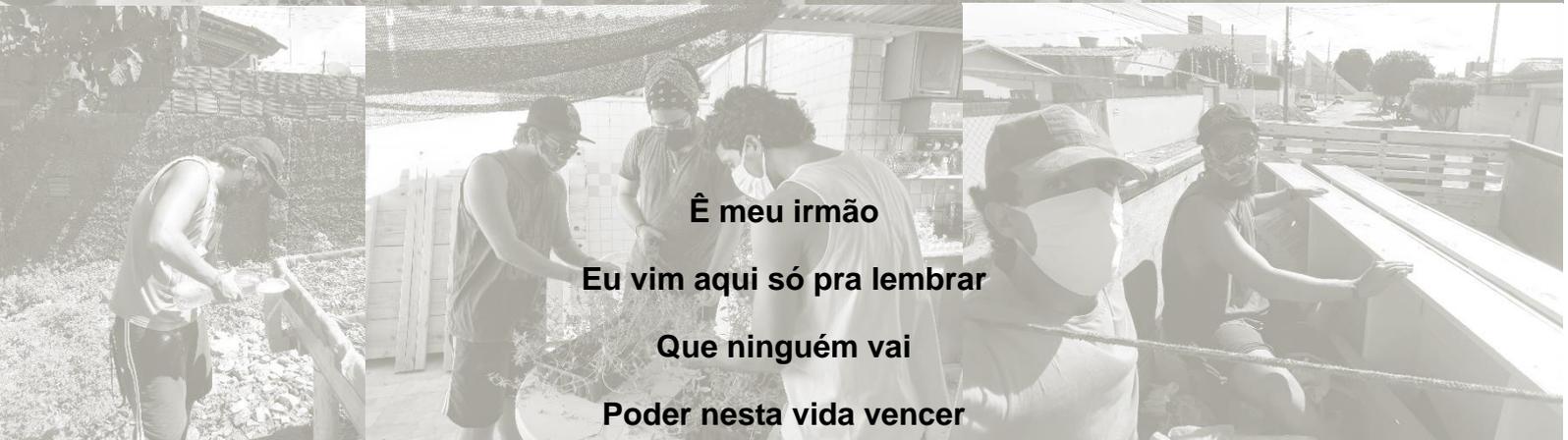
Aos professores Adriano e Pablo, pela participação na banca e significativas contribuições para melhoria do trabalho,

Aos colegas do laboratório de Ecologia terrestre e de Ecologia aquática pelas conversas e companhia no dia a dia.

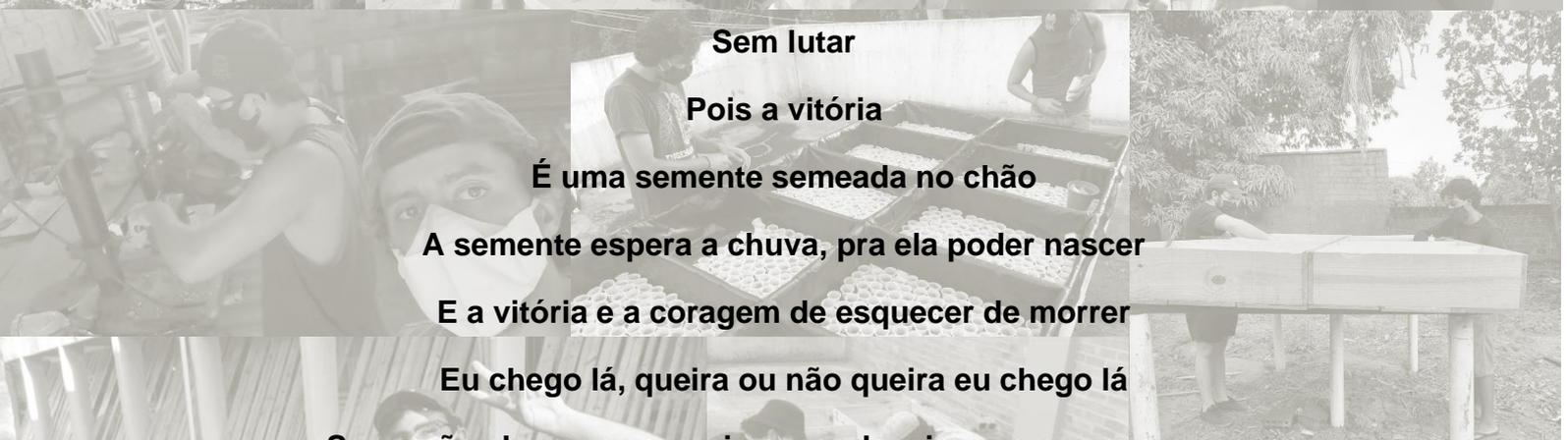
Agradeço aos meus camaradas da capoeira, aos meus amigos da vida, a minha família de perto e de longe e aos meus ancestrais por tudo de bom que recebi e recebo.



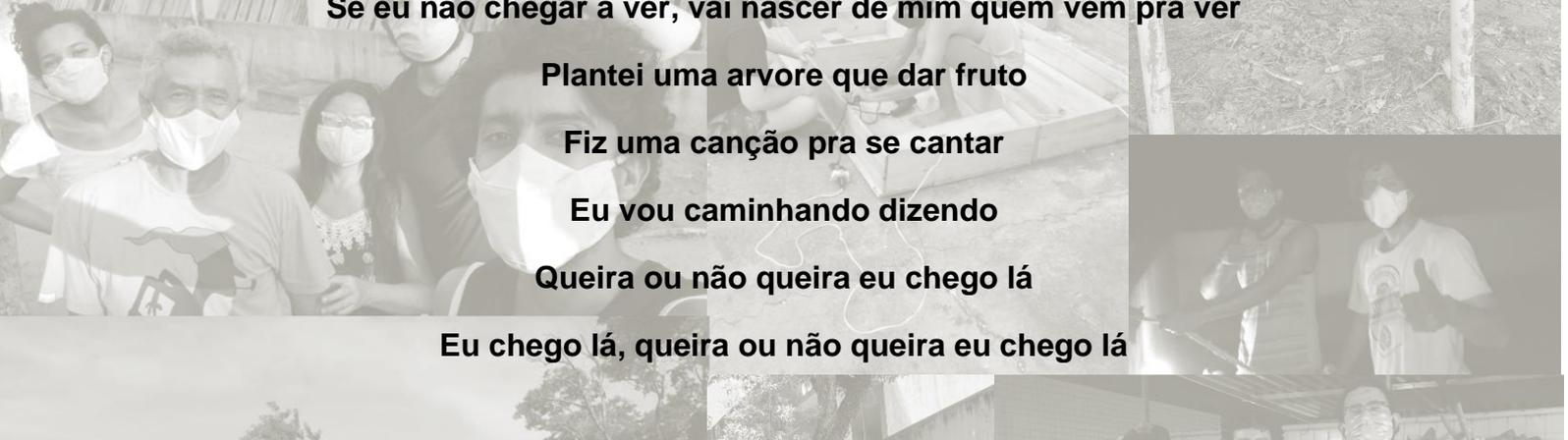
**Por fim, e em todo começo, agradeço a Deus por estar no aqui e no agora
caminhando pra frente e pra cima.**



**É meu irmão
Eu vim aqui só pra lembrar
Que ninguém vai
Poder nesta vida vencer**



**Sem lutar
Pois a vitória
É uma semente semeada no chão
A semente espera a chuva, pra ela poder nascer
E a vitória e a coragem de esquecer de morrer**



**Eu chego lá, queira ou não queira eu chego lá
Se eu não chegar a ver, vai nascer de mim quem vem pra ver**



**Plantei uma árvore que dar fruto
Fiz uma canção pra se cantar
Eu vou caminhando dizendo
Queira ou não queira eu chego lá**

Eu chego lá, queira ou não queira eu chego lá

Marinês (1967)

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

- Figura 1. Localização dos protótipos em João Pessoa, Paraíba, Brasil32
- Figura 2. Protótipos experimentais de telhados verdes instalados nos bairros indicados.....34
- Figura 3. Espécies utilizadas como cobertura vegetal, A) *Tridax procumbes* e B) *Richardia grandiflora*.34
- Figura 4. Produção de mudas iniciais das espécies A) Germinação de *Tridax procumbes* B) Estaquia de *Richardia grandiflora* C) Bandejas com mudas.34
- Figura 5. Floração, frutificação e crescimento vegetativo de *Richardia grandiflora* (A, C e E, respectivamente) e de *Tridax procumbes* (B, D e F, respectivamente) em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil36
- Figura 6. Índice de A) floração e B) frutificação das espécies *R. grandiflora* e *T. procumbes* por bairros em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil.39
- Figura 7. Índice de A) quantidade de ramos e B) cor e vigor das espécies *R. grandiflora* e *T. procumbes* por bairros em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil.39
- Figura 8. Aspecto do protótipo de telhado verde extensivo, com caixotes de *Tridax procumbes* (esquerda) e *Richardia grandiflora* (direita), na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil, em período A) com chuvas e B) seco..39

CAPITULO 2

- Figura 1. Protótipos experimentais de telhados verdes instalados nos bairros verdes: 1: Castelo Branco (UFPB) e 3: Jacarapé, e cinzas: 2: Bancários e 4: Funcionários, com representação do uso do solo num raio de 2 km50

| | |
|--|----|
| Figura 2. A) Protótipo com a vegetação estabelecida, apresentando cinco caixotes com B) <i>Tridax procumbes</i> (esquerda) e cinco caixotes com C) <i>Richardia grandiflora</i> (direita). | 34 |
| Figura 3. Fotografias superiores de caixotes para avaliar a porcentagem da área ocupada por cobertura vegetal, A) <i>Tridax procumbes</i> e B) <i>Richardia grandiflora</i> | 34 |
| Figura 4. Armadilha de prato (pan trap) com solução de água e detergente para captura de visitantes florais. | 34 |
| Figura 5. Espécie de abelha exótica <i>Apis mellifera</i> polinizando <i>Tridax procumbes</i> | 34 |

CAPITULO 3

| | |
|--|----|
| Figura 1. Componentes estruturais dos protótipos A) Caixaote de madeira B) Pintura interna com membrana acrílica C) Revestimento interno com lona de polietileno de 300 micras D) Camada de drenagem com copos plásticos de 50ml preenchidos com argila expandida E) Aspecto visual do substrato F) Tubulação para saída de escoamento G) Sistema de coleta do escoamento pluvial, composto por tubulações, conexões, mangueiras e reservatórios | 68 |
| Figura 2. A) Protótipo de telhado verde com demarcação em vermelho nos 4 caixotes analisados, utilizando duas espécies como cobertura vegetal: B) <i>Richardia grandiflora</i> e C) <i>Tridax procumbes</i> | 70 |
| Figura 3. Retenção dos telhados verdes para as categorias de precipitação | 73 |
| Figura 4. Retenção dos telhados verdes com dias antecedentes secos (vermelho) e chuvosos (azul) para as categorias precipitação diária | 74 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

CAPITULO 1

Tabela 1. Análise da sincronicidade no comportamento reprodutivo e vegetativo das espécies *Richardia grandiflora* e *Tridax procumbens* em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil37

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Modelos aninhados com melhor aderência aos dados para cada variável testada.....53

Tabela 2. Modelos lineares mistos para a cobertura vegetal, o índice de floração e a abundância de visitantes florais (variáveis dependentes) em função do tipo de cobertura vegetal de cada bairro – bairros verdes e bairros cinzas (fator fixo) na cidade de João Pessoa, PB, Nordeste do Brasil54

Tabela 3. Abundância das ordens registradas nas armadilhas por bairros54

Tabela 4. Frequência de visitas das espécies polinizadoras por protótipo55

CAPITULO 3

Tabela 1. Caracterização físico-química do substrato utilizado nos protótipos de telhado verde72

Tabela 2. Quantidade de dias analisados e retenção do volume diário precipitado por categorias e por estações climáticas72

Tabela 3. Retenção do volume diário precipitado por categorias para casos com dias anteriores secos e chuvosos74

Tabela 4. Variação da % de retenção em relação a quantidade de dias antecedentes sem chuva (DASC)75

| | |
|--|----|
| Tabela 5. Retenção do volume diário precipitado por categorias para casos com dias anteriores secos e chuvosos | 75 |
|--|----|

CAPITULO 4

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Perfil dos profissionais entrevistados | 86 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Tabela 2. Experiência dos profissionais com telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB | 88 |
|--|----|

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 16 |
| FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 21 |
| INFRAESTRUTURA VERDE | 21 |
| HISTORICO DOS TELHADOS VERDES | 22 |
| TIPOS DE TELHADOS VERDES | 23 |
| SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS | 25 |
| POLÍTICAS PUBLICAS ABORDANDO TELHADOS VERDES..... | 28 |
| REFERÊNCIAS (da introdução e da fundamentação teórica) | 30 |
| CAPÍTULO 1 | 36 |
| INTRODUÇÃO..... | 36 |
| METODOLOGIA | 39 |
| Área de Estudo..... | 39 |
| Sistema e espécies de estudo..... | 40 |
| Coleta de dados..... | 43 |
| Análise de dados | 44 |
| RESULTADOS..... | 44 |
| DISCUSSÃO..... | 50 |
| CONCLUSÃO | 53 |
| REFERÊNCIAS..... | 54 |
| CAPÍTULO 2 | 58 |
| INTRODUÇÃO..... | 58 |
| MATERIAL E METODOS..... | 60 |
| Área de Estudo | 60 |
| Sistema e espécies de estudo..... | 62 |
| Coleta de dados..... | 64 |
| Análise de dados | 66 |
| RESULTADOS..... | 67 |
| Fenologia floral e crescimento vegetativo..... | 67 |
| Guilda de visitantes florais: riqueza e abundância..... | 68 |
| DISCUSSÃO..... | 71 |
| CONCLUSÃO | 74 |

| | |
|--|-----|
| REFERÊNCIAS..... | 74 |
| CAPÍTULO 3 | 80 |
| INTRODUÇÃO..... | 80 |
| MATERIAL E METODOS..... | 83 |
| Área de estudo | 83 |
| Sistema utilizado..... | 84 |
| Coleta de dados..... | 87 |
| Análises | 88 |
| RESULTADOS..... | 88 |
| DISCUSSÃO..... | 92 |
| CONCLUSÃO | 94 |
| REFERÊNCIAS..... | 95 |
| CAPÍTULO 4 | 99 |
| INTRODUÇÃO..... | 99 |
| MATERIAL E METODOS..... | 101 |
| Área de estudo | 101 |
| Coleta de dados..... | 101 |
| Análise de dados | 102 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 103 |
| Perfil dos profissionais e experiências no uso de telhados verdes | 103 |
| Percepção quanto aos serviços ecossistêmicos prestados pelos telhados verdes | 107 |
| CONCLUSÃO | 112 |
| REFERÊNCIAS..... | 112 |
| CONCLUSÃO..... | 117 |
| APÊNDICES..... | 119 |
| APÊNDICE 1 – Dados brutos do monitoramento hidrológico (CAPITULO 3) | 119 |
| APÊNDICE 2 – Questionário (CAPITULO 4) | 121 |

RESUMO

A urbanização altera drasticamente o meio ambiente, especialmente em países do Sul Global marcados por processos de adensamento urbano desordenado. Os telhados verdes são apontados como uma forma de recuperar parcialmente serviços ecossistêmicos perdidos, a exemplo da regulação do ciclo hidrológico ou manutenção biodiversidade urbana. Contudo, a aplicação dessa tecnologia ainda é pouca expressiva no Brasil, especialmente na região nordeste. Nesse sentido, o estudo teve quatro objetivos: 1) avaliar o ciclo de vida e a fenologia reprodutiva e vegetativa de espécies ruderais em telhados verdes extensivos; 2) avaliar a influência da proximidade de remanescentes florestais sob biodiversidade de visitantes florais e o desempenho (crescimento e floração) de espécies ruderais em telhados verdes; 3) Investigar a capacidade de retenção do volume precipitado; 4) Investigar a percepção dos profissionais de construção civil sobre telhados verdes, aplicabilidade e serviços ecossistêmicos proporcionados. Foram instalados protótipos de telhados verdes com 4.8 m² em quatro bairros de João Pessoa com diferentes configurações de fragmentos florestais no entorno, chamados de verdes e cinzas. Duas plantas ruderais foram utilizadas, *Tridax procumbes* e *Richardia grandiflora*, contendo cinco réplicas de cada espécie por protótipo. O desempenho vegetativo e reprodutivo das coberturas vegetais foi monitorado por avaliações semiquantitativas e análises de imagens aéreas. A biodiversidade de visitantes florais foi acompanhada por observações naturalistas pelo método indivíduo-focal. O desempenho hidrológico dos telhados verdes foi mensurado pelo volume retido de precipitações em escala diária. Além disso, foi avaliada a percepção dos profissionais da construção civil sobre telhados verdes através de questionários. As plantas ruderais *R. grandiflora* e *T. procumbes* apresentaram bom desempenho no período chuvoso, com rápido crescimento e abundante floração. Não suportaram o período seco, contudo sua estratégia reprodutiva proporcionou a criação de um banco de sementes que permitiu o repovoamento espontâneo dos telhados verdes. A presença de telhados verdes se mostrou importante na atração de polinizadores, sugerindo que podem atuar como nicho suplementar para espécies, principalmente em áreas mais verdes que, em geral, suportam maior diversidade de visitantes florais. Os telhados verdes apresentaram capacidade de retenção superiores a 50% para precipitações diárias de até 40 mm/dia, sendo negativamente influenciada aumento do volume precipitado e pela condição de dias antecedentes chuvosos. Além disso, o tipo de cobertura vegetal não causou diferenças no desempenho hidrológico. Para precipitações mais intensas (>40 mm), é indicado a integração de outras medidas de controle de escoamento na fonte. Os profissionais da construção relataram pouca familiaridade com os telhados verdes, além de ínfima procura e oferta pelo serviço na cidade, sendo os arquitetos mais atuantes. Os serviços ecossistêmicos mais relevantes foram de regulação térmica e hidrológica. As principais dificuldades apontadas foram a falta de interesse do cliente e a carência de informação técnica, tendo como formas de melhorias atividades de sensibilização da população e inclusão do tema nos currículos universitários, além da criação de incentivos governamentais.

Palavras-chave: Infraestrutura verde. Plantas ruderais. Polinização urbana. Desempenho hidrológico. Percepção ambiental de profissionais da construção.

ABSTRACT

Urbanization drastically alters the environment, especially in countries of the Global South marked by processes of disordered urban densification. Green roofs are a way to partially recover lost ecosystem services, such as regulating the hydrological cycle or maintaining urban biodiversity. However, the application of this technology is still not very expressive in Brazil, especially in the northeast region. In this sense, the study had four objectives: 1) evaluate the life cycle and reproductive and vegetative phenology of ruderal species on extensive green roofs; 2) evaluate the influence of the proximity of forest remnants on the biodiversity of floral visitors and the performance (growth and flowering) of ruderal species on green roofs; 3) investigate the retention capacity of the precipitated volume; 4) investigate the perception of civil construction professionals about green roofs, applicability and ecosystem services provided. Prototypes of green roofs measuring 4.8 m² were installed in four districts of João Pessoa with different configurations of forest fragments in the surroundings, called green and grey scenarios. Two ruderal plants were used, *Tridax procumbens* and *Richardia grandiflora*, containing five replicas of each species per prototype. The vegetative and reproductive performance of the vegetation cover was monitored by semi-quantitative evaluations and aerial image analysis. The biodiversity of floral visitors was accompanied by naturalistic observations by the individual-focal method. The hydrological performance of green roofs was measured by the volume of rainfall retained on a daily scale. In addition, the perception of construction professionals about green roofs was evaluated through questionnaires. The ruderal plants *R. grandiflora* and *T. procumbens* showed good performance in the rainy season, with rapid growth and abundant flowering. They did not withstand the dry period. However, their reproductive strategy provided the creation of a seed bank that allowed the spontaneous repopulation of the green roofs. The presence of green roofs proved important in attracting pollinators, suggesting that they can act as a supplementary niche for species, especially in greener areas that generally support a greater diversity of floral visitors. The green roofs showed a retention capacity greater than 50% for daily rainfall of up to 40 mm/day, negatively influenced by the increase in precipitation volume and by the condition of previous rainy days. In addition, the type of vegetation cover did not cause differences in hydrological performance. For more intense rainfall (>40 mm), the integration of other flow control measures at the source is indicated. Construction professionals reported little familiarity with green roofs, in addition to low demand and supply for the service in the city, being the most active architects. The most relevant ecosystem services were thermal and hydrological regulation. The main difficulties pointed out were the lack of customer interest and technical information, having as ways of improvement activities to raise awareness of the population and inclusion of the topic in university curricula, and the creation of government incentives.

Keywords: Green infrastructure. Ruderal plants. Urban pollination. Hydrological performance. Environmental perception of construction professionals.

INTRODUÇÃO

A urbanização altera drasticamente o meio ambiente, de modo que a ocupação por superfícies impermeáveis e a escassez de espaços verdes aumentam com a proximidade do centro urbano (SPERAC e OBRADOVIC, 2019). Uma das principais consequências é que os processos ecológicos nas áreas urbanas podem ser irreversivelmente alterados, causando assim a perda dos serviços ecossistêmicos promovidos por esses processos (CARTER e FOWLER, 2008; WALKER e LUNDHOLM, 2017).

As infraestruturas verdes contribuem para melhorias ambientais, sociais e econômicas, visto que promovem serviços ecossistêmicos, como a regulação do ciclo hidrológico, do clima local e da qualidade do ar, manutenção da biodiversidade urbana, agregação de valor estético, provisão de espaço para pesquisa ecológica urbana e para educação pública (COUTTS e HAHN, 2015; WANG e BANZHAF, 2018). Além disso, favorecem a melhoria da saúde pública, incluindo redução da mortalidade, morbidade, estresse e fadiga mental (SPERAC e OBRADOVIC, 2019).

A conservação de áreas naturais remanescentes no planejamento das cidades é uma medida primordial para evitar o declínio ambiental das áreas urbanas. Por outro lado, o desenvolvimento de ecossistemas construídos integrados a infraestrutura urbana pode replicar parcialmente formas e funções existentes antes da urbanização, assim contribuindo na manutenção de serviços ecossistêmicos (CARTER e FOWLER, 2008).

Áreas de telhados podem representar até 32% da ocupação da superfície em áreas urbanizadas, sendo um componente determinante no fluxo de energia e no ciclo da água urbana (FRAZER, 2005). Os telhados verdes são ecossistemas construídos que complementam ou substituem estruturalmente os telhados convencionais, assim não comprometem o desenvolvimento nas áreas no nível do solo (CIPOLLA *et al.*, 2016). Os principais serviços ecossistêmicos exercidos pelos telhados verdes envolvem reduzir o escoamento superficial, melhorar a qualidade da água, diminuir a poluição atmosférica, aumentar o conforto térmico nos edifícios e reduzir a ilha de calor nas cidades, agregar valor estético e aumentar os níveis de biodiversidade urbana (YANG *et al.*, 2008; COLLA *et al.*, 2009; BERNDTSSON, 2010; TONIETTO *et al.*, 2011; CIPOLLA *et*

al., 2016). Além disso, promovem benefícios sociais, como prazer estético, melhoria na capacidade de concentração das pessoas por períodos de tempo maiores, provisão de bem-estar e experiências restauradoras (WILLIAMS *et al.*, 2019), e apresentam potencial para pesquisa ecológica urbana, educação pública e agricultura urbana.

Os telhados verdes são sistemas vivos, de modo que a composição das camadas de substrato e cobertura vegetal exercem alta influência na performance dos telhados em diferentes condições climáticas (CIPOLLA *et al.*, 2016; SIMMONS, 2015). Nesse sentido, é necessário maior aprofundamento nos estudos em relação aos serviços ecossistêmicos proporcionados pelos telhados verdes em climas tropicais e em regiões costeiras (LUGO e RULLAN, 2015). A experimentação através de protótipos é uma valiosa ferramenta para investigar o desempenho e os benefícios proporcionados pelos telhados verdes em diferentes localidades do planeta.

A paisagem é tida como espaço heterogêneo onde ocorrem diversas interações formando um mosaico (METZGER, 2001). A dinâmica de paisagens nas cidades é influenciada pela presença do verde urbano, que na forma de corredores ecológicos, *stepping stones* e/ou estruturas que permitam suplementação de habitat, auxiliam os fluxos da entomofauna e dos visitantes florais entre remanescentes florestais (BIANCHI *et al.*, 2006). No entanto, não há trabalhos que tratem sobre biodiversidade urbana associada a telhados verdes no Brasil e das possíveis interações com a paisagem urbana.

A maior parte dos estudos realizados utilizam espécies exóticas de suculentas, principalmente do gênero *Sedum* (AZENAS *et al.*, 2019; WALKER e LUNDHOLM, 2017). A utilização de plantas nativas e ruderais vêm sendo difundida principalmente na Europa, onde telhados com essa cobertura eram conhecidos por "*brownroof*", devido ao aspecto amarronzado da vegetação em épocas do ano mais secas. Atualmente são chamados de telhados biodiversos, pois incorporam maior diversidade de plantas, com diferentes características morfológicas e fenológicas, a fim de aumentar a resiliência e funcionalidade da estrutura, além de proporcionarem mais recursos para a manutenção da biodiversidade urbana (DUNNETT, 2015). No Brasil poucos estudos avaliam a utilização de plantas nativas em telhados verdes, algumas espécies investigadas foram a herbácea *Arachis repens* (NOYA *et al.*, 2017), a bromélia *Neoregelia*

compacta (SILVA, 2016), suculenta *Portulaca grandiflora* (SAVI e TAVARES, 2018) e a cactácea *Melocactus zehntneri* (SANTOS *et al.*, 2019). Contudo, não houve estudos avaliando o uso de espécies ruderais em telhados verdes extensivos.

Estudos evidenciando os benefícios da aplicação de telhados verdes têm provocado a crescente utilização dessa tecnologia como instrumento de planejamento urbano principalmente em países da Europa, nos Estados Unidos e na Austrália (LIBERALESSO *et al.*, 2020). No Brasil, a aplicação de telhados verdes na construção é escassa, sendo mais presente no sul do país (RIGHI *et al.*, 2016). Dessa forma, é essencial a consolidação de resultados robustos e locais, incluindo variáveis como o clima, as espécies nativas e os materiais disponíveis em cada região, para fundamentar os benefícios e a viabilidade dessas soluções, a fim de que sejam propostas, regulamentadas e executadas entre políticos, planejadores urbanos e profissionais da construção civil (FRANCIS e JENSEN, 2017).

Profissionais da construção civil, como engenheiros e arquitetos, exercem importante função do processo de desenvolvimento das cidades. Para além da execução de obras, profissionais interessados nos aspectos ambientais podem influenciar e assessorar clientes em via de opções ambientalmente positivas e sustentáveis. Nesse sentido, o entendimento da percepção desses trabalhadores em relação aos benefícios dos telhados verdes, obstáculos e formas de melhorias é essencial para maior implementação da tecnologia. (ZAHIR *et al.*, 2014)

Pela natureza do objeto, os estudos sobre telhados verdes requerem uma abordagem interdisciplinar, por relacionar conhecimentos da engenharia civil e ambiental, arquitetura, agronomia, biologia vegetal e ecologia. Além disso, ao pensar na sua aplicação em cidades, os aspectos culturais, econômicos e sociais são determinantes para a aceitação e viabilidade da aplicação dessa tecnologia.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a importância dos telhados verdes para a regulação do ciclo hidrológico e a manutenção da biodiversidade urbana de serviços ecossistêmicos, além de investigar a percepção dos profissionais da construção sobre essa tecnologia na cidade de João Pessoa, Paraíba, nordeste do Brasil. Mais especificamente, objetivou-se:

- Avaliar ciclo de vida e a fenologia reprodutiva e vegetativa de duas espécies ruderais, *Richardia grandiflora* (Rubiaceae) e *Tridax procumbens* (Asteraceae), em sistema de monocultivo em telhado verde extensivo;
- Avaliar a influência da proximidade de remanescentes florestais sob biodiversidade de visitantes florais e o desempenho (crescimento e floração) de espécies ruderais, *Richardia grandiflora* e *Tridax procumbens*, em telhados verdes extensivos;
- Investigar a capacidade de retenção do volume precipitado, em escala diária, por protótipos de telhados verdes em região tropical úmida;
- Investigar a percepção dos profissionais de construção civil, incluindo arquitetos, engenheiros ambientais e civis, em relação ao papel dos telhados verdes, sua aplicabilidade e aos serviços ecossistêmicos proporcionados em João Pessoa, nordeste do Brasil.

Considerando esses objetivos, as hipóteses são que:

- As espécies ruderais apresentam satisfatório crescimento da cobertura vegetal e floração em telhados verdes extensivos em regiões tropicais costeiras.;
- O desempenho de plantas ruderais em telhados verdes, assim como a guilda de polinizadores, será maior em locais com maior quantidade de fragmentos florestais na área circunvizinha aos telhados;
- Os telhados verdes apresentaram desempenho significativo na retenção dos volumes de chuva em região tropical úmida, que apresentam ampla variação na magnitude das precipitações;
- Os profissionais de construção de João Pessoa carecem de conhecimento em relação à essa tecnologia, afetando sua disseminação e uso.

A presente dissertação está estruturada em duas partes, sendo a primeira contendo a introdução e a fundamentação teórica e a segunda contendo quatro manuscritos, cada um procurando responder questões mais específicas dentro do objetivo geral proposto. Os manuscritos foram escritos de maneira independente e na forma de artigo. No manuscrito I está sendo apresentada a avaliação do desenvolvimento (ciclo de vida e fenologia vegetativa e reprodutiva) de espécies ruderais nativas em telhado verde extensivo e sua relevância para o uso em telhados verdes; no manuscrito II está sendo apresentada a influência da paisagem do entorno (presença de remanescentes florestais) sobre o desenvolvimento vegetal e reprodutivo das plantas e na atração de

polinizadores; no manuscrito III está sendo apresentada a investigação sobre a capacidade de retenção do volume precipitado, em escala diária, por protótipos de telhados verdes; e no manuscrito IV está sendo apresentada a avaliação da percepção dos profissionais de construção em relação ao papel dos telhados verdes, a aplicabilidade e aos serviços ecossistêmicos proporcionados.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

INFRAESTRUTURA VERDE

A urbanização altera drasticamente o meio ambiente, substituindo os espaços verdes por superfícies impermeáveis nos centros urbanos (SPERAC e OBRADOVIC, 2019), de modo a causar redução dos benefícios ambientais e diminuir a qualidade de vida da população. Nesse cenário, estratégias para conciliar o maior adensamento populacional com a melhoria do bem-estar humano nas cidades são necessárias. Surgindo através de uma abordagem sistemática, holística e transdisciplinar, as infraestruturas verdes são apontadas como soluções que interseccionam questões de poluição, habitat, recreação, espaços abertos e forma de urbanização, através de políticas e práticas (AUSTIN, 2014).

As infraestruturas verdes podem ser definidas como uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais, incluindo outros recursos ambientais, projetados e gerenciados para proporcionar uma ampla gama de serviços ecossistêmicos e proteger a biodiversidade no meio rural e urbano (EUROPEAN COMMISSION, 2013). A conectividade é entre estruturas é uma característica fundamental para garantir os benefícios dessas soluções (AUSTIN, 2014). Sendo assim, durante o planejamento são tomados em consideração valores e ações de conservação relacionados ao desenvolvimento da terra, à gestão do crescimento e ao ordenamento da infraestrutura construída (BENEDICT e MCMAHON, 2002).

Outra característica essencial dessas medidas é a multifuncionalidade, de modo que promovem múltiplas melhorias, ambientais, sociais e econômicas, interconectadas entre si. A exemplo dos parques lineares ao longo de rios urbanos, estes influenciam positivamente em diversos processos dos ecossistemas, como na regulação do ciclo hidrológico, do clima local, da qualidade do ar, da polinização, entre outros. Além disso, promovem bem-estar e contato com a natureza, favorecendo a redução da mortalidade, morbidade, estresse e fadiga mental (SPERAC e OBRADOVIC, 2019). Por fim, reduzindo custos de saúde pública.

As soluções abrangem diversas escalas territoriais e níveis de interferência humana. Dentre as áreas seminaturais, estão inclusas telhado verde, bioretenção, vala de infiltração, pavimento permeável e arborização urbana. Dentre soluções mais próximas a condições naturais iniciais, são apresentadas *wetland*, revitalização de rios urbanos, parque linear e floresta urbana (ZELLNER *et al.*, 2016; KIM e PARK, 2016).

O planejamento e implementação de infraestruturas verdes requerem profissionais com visão ampla, pensamento criativo e habilidades adequadas. Equipes multidisciplinares são necessárias mediante a complexidade dessas soluções, assim envolvendo arquitetos, paisagistas, engenheiros, ecologistas, hidrólogos, urbanistas e outros, dependendo da especificidade e contexto. Assim, torna-se uma abordagem sustentável e projetada que incorpora com sensibilidade o entrelaçamento entre os mundos construído e natural (TEMPANY e ARMOUR, 2020).

HISTORICO DOS TELHADOS VERDES

Os primórdios dos telhados verdes remontam ao período Neolítico, 8000 a 4000 anos A.C., com a necessidade de assentamento humano após o advento da agricultura. Estruturas construídas com terra surgiram em um vasto território geográfico incluindo desde regiões tropicais à árticas, quentes e frias, secas e úmidas, e apresentando uma diversidade de adaptações culturais locais. A construção de abrigos primitivos utilizava materiais locais, como barro, pedras, madeiras e solo, assim a colonização espontânea dessas estruturas por plantas nativas formaram os primeiros telhados verdes (JIM, 2017).

Entre 4000 A.C. e 500 D.C, registros históricos remontam a existência de templos em formato piramidal na Mesopotâmia, denominados Zigurates, nos quais eram incorporados jardins com árvores. Os míticos Jardins Suspensos da Babilônia, apesar de haverem poucos registros, são datados por volta dos anos 500 A.C., e permeiam o imaginário da humanidade como incríveis construções integradas de jardins, terraços e sistemas vegetados. Evidências arqueológicas comprovam a utilização de sistemas verdes dos impérios Grego e Romano (BESIR e CUCE, 2018). Na era medieval entre os anos 500 e 1500, registros apontam comunidades das regiões Árticas que apresentaram telhados verdes

em sua arquitetura vernácula com o objetivo garantir abrigo mediante as condições extremas de baixa temperatura. Entre elas, os povos Inuits da América do Norte (também conhecidos como Eskimos) e os povos Nórdicos e Vikings desenvolveram telhados verdes compostos por grama e relva, conhecidos por “sod roofs” (SAWYER, 1997). A aplicação consciente da cobertura vegetal consistia no transplante de placas de grama, incluindo as raízes e o solo, dos prados naturais para os telhados. Diferentes configurações de camadas garantiam a selagem da moradia contra o vento e a água, de modo que as raízes das plantas proporcionavam reforço estrutural. Também são registradas a presença de construções com telhados verdes em outras regiões do globo, a exemplo da utilização de gramas no telhado de casas de povos nômades nas pastagens temperadas (estepes) da Ásia Central, região marcada pela ausência de árvores, e a construção de edificações com vários pavimentos contendo telhados verdes irrigados no seu topo na atual região do Cairo, na África (JIM, 2017).

Os telhados verdes modernos foram pioneiramente desenvolvidos na Alemanha no início da década de 60 (SHAFIQUE *et al.*, 2018). O refinamento da técnica através da pesquisa sobre biodiversidade, construção, tecnologia e substrato de telhados verdes culminou na concepção atual de telhados verdes aplicados ao meio urbano, além de proporcionar a criação das primeiras diretrizes técnicas para planejamento, construção e manutenção de telhados verdes (FLL, 2018). A tendência por construções verdes é crescente, sendo destaque nos países do Norte Global, como Estados Unidos, Canada, Australia, Singapura, Japão, China, Hong Kong e Coreia do Sul, além de outros países europeus como Suíça, Portugal e Espanha (BESIR e CUCE, 2018).

TIPOS DE TELHADOS VERDES

Atualmente, os telhados verdes são conceituados como ecossistemas construídos, compostos por vegetação e substrato, que complementam ou substituem estruturalmente os telhados convencionais (CIPOLLA *et al.*, 2016). Os principais tipos são intensivos, semi-intensivos e extensivos. Os intensivos apresentam substratos com alturas maiores que 25cm, permitem a utilização de ampla diversidade de plantas, incluindo arbustos e árvores, e requerem

manutenção similar a um jardim, incluindo tratos de poda, adubação e irrigação. Além disso, apresentam maior custo de implantação e sobrecarga estrutural, devido ao aumento das proporções, e permitem acesso ao público para atividades de lazer e recreação. Por outro lado, os telhados extensivos apresentam uma fina camada de substrato, entre 5 e 15 cm, comportando espécies de suculentas, gramas e ervas. Normalmente, não permitem acesso ao público e requerem menor manutenção (CALHEIROS e STEFANAKIS, 2021). Além disso, exercem pouco sobrecarga na estrutura facilitando a instalação em construções já existentes (FEITOSA e WILKINSON, 2017). Casos intermediários com profundidades de substrato entre 15 e 25cm são classificados como semi-intensivos. Dentre os três tipos, os telhados extensivos são os mais usados devido às restrições de peso, custo e manutenção (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

A estrutura de um telhado verde é basicamente composta por membrana de isolamento à prova de água, membrana de barramento contra raízes, sistema de drenagem, manta filtrante, substrato e vegetação (CIPOLLA *et al.*, 2016). Os substratos utilizados tendem a ter composição principalmente mineral com pequenas quantidades de matéria orgânica, aproximadamente 10% do peso. É comum a utilização de material reutilizado de origem tecnogênica, como grânulos de argilas expandidas e tijolo triturado, e existe um crescente interesse na utilização de resíduos granulares leves de origem local (ROSSITER *et al.*, 2007; JELÍNKOVÁ *et al.*, 2015; OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Em telhados extensivos, as condições de rasa camada de substrato, com limitada quantidade de matéria orgânica e a intensa exposição às condições climáticas extremas criam um cenário desafiador para o crescimento de plantas nos telhados verdes (DUNNETT e KINGSBURY, 2004), principalmente para os tipos extensivos. As coberturas vegetais mais utilizadas em telhados extensivos são plantas suculentas, especialmente do gênero *Sedum*, caracterizando um ambiente com alta tolerância à seca, contudo com baixa diversidade de espécies e de funções ecológicas (AZENAS *et al.*, 2019; WALKER e LUNDHOLM, 2017). No entanto, plantas ruderais apresentam características de rusticidade, resistência a estresses ambientais, rápido crescimento, alta produção e longevidade de sementes (LORENZI, 2000), com potencialidade para ocupar esses ambientes (DUNNETT, 2015). Ademais, a dinâmica de interações que ocorre nos telhados verdes, incluindo o povoamento por novas espécies,

promove a mudança da composição vegetal dos telhados com o decorrer do tempo (KÖHLER, 2006).

O implemento de irrigação em projetos de telhados verdes permitem ampliar as possibilidades de cobertura vegetal incluindo espécies de plantas menos tolerantes a escassez hídrica (NAGASE e DUNNETT, 2010). Dessa forma é possível ampliar as características paisagísticas e funcionais proporcionadas pelos telhados verdes. Além disso, telhados que apresentam em sua estrutura uma camada extra para armazenamento de água são chamados de “*blue-green roofs*”, telhados azuis-verdes. Essa medida amplia a capacidade de redução do escoamento superficial pela retenção de maiores volumes de água, que posteriormente é disponibilizada para as plantas, reduzindo o estresse hídrico durante os períodos secos (BUSKER *et al.*, 2022).

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Serviços ecossistêmicos são definidos como as contribuições que ecossistemas realizam para o bem-estar das pessoas, sendo estes produtos finais dos ecossistemas, sejam naturais, seminaturais ou altamente modificados (HAINES-YOUNG E POTSCHIN, 2018). Segundo a Classificação Internacional Comum dos Serviços Ecossistêmicos (CICES V5.1), são consideradas três categorias: provisão, regulação e manutenção, e culturais.

Os serviços de provisão incluem abrangem todos os produtos nutricionais, não nutricionais e energéticos dos sistemas vivos, bem como os produtos abióticos (incluindo água). Em seguida, os serviços de regulação e manutenção correspondem a todas as maneiras pelas quais os organismos vivos podem mediar ou moderar o ambiente que afeta a saúde, segurança ou conforto humano, juntamente com equivalentes abióticos. Por fim, os serviços culturais equivalem a produtos não materiais dos ecossistemas (bióticos e abióticos), e normalmente não rivais e não consumíveis, que afetam os estados físicos e mentais das pessoas (HAINES-YOUNG E POTSCHIN, 2018).

Os telhados verdes podem desempenhar os três tipos de serviços ecossistêmicos, provisão, regulação e manutenção, e culturais, a depender de das características estruturais, composição do substrato e tipo de vegetação. Essas estruturas atuam como medidas para controle de escoamento na fonte de

geração, de modo a reduzir do pico de vazão máxima e do volume total escoado em eventos chuvosos (BERNDTSSON, 2010; GETTER *et al.*, 2007), especialmente para chuvas de menores intensidades (NAWAZ *et al.*, 2015), de modo a atenuar problemas como inundações e erosão do solo (CARTER e FOWLER, 2008).

Essas soluções também protegem as estruturas das chuvas ácidas e podem atuar como filtro de troca aniônica para nutrientes e metais presentes nas águas precipitadas (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Contudo, a melhoria da qualidade da água pela filtragem depende de características da estrutura, como a composição do substrato, capacidade de fitoremediação das espécies utilizadas, idade, rotina de manutenção e qualidade da água captada (HASHEMI *et al.*, 2015). Foram identificadas condições em que o telhado verde aumenta a carga poluidora do efluente, contudo, passível de uso não potável de acordo com normas nacionais e internacionais (SA *et al.*, 2021; CASTRO *et al.*, 2021; BEECHAM e RAZZAGHMANESH, 2015).

A melhoria da qualidade do ar ocorre à medida que as plantas absorvem gases da atmosfera como NO_x, componente de chuvas ácidas, e CO₂, que contribui para o efeito estufa. Além de que a redução na temperatura no telhado desacelera as reações fotoquímicas, de modo a reduzir a geração de poluentes secundários, como ozônio (YANG *et al.*, 2008).

Adicionalmente, ocorre a atenuação dos picos de temperatura externa e interna dos edifícios, visto que os processos de sombreamento e o resfriamento evaporativo da camada vegetada diminuem o fluxo de calor (BOLLMAN *et al.*, 2021; HE *et al.*, 2016). A melhoria na eficiência energética promovida pela aplicação de telhados verdes causa redução dos custos de climatização de edifícios, seja para aquecimento ou resfriamento (CARTER e KEELER, 2008). Além disso, promove o aumento da vida útil dos telhados pela proteção contra calor extremo, vento e radiação ultravioleta (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Ademais, a aplicação de telhado verde também proporciona um agradável lugar para visitar ou observar, passando a ser utilizado também como uma ferramenta para melhoria estética que agrega valor às construções. (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Estudos apontam o potencial de gerar experiências restauradoras, como a melhoria da capacidade de concentração das pessoas e alívio do estresse (WILLIAMS *et al.*, 2019). Além disso, a possibilidade de acesso

e biodiversidade enriquecem a experiência levando em considerações aspectos multissensoriais, como formas e cores, cheiros e texturas (LODER, 2014).

Essas estruturas promovem o aumento da biodiversidade no meio urbano visto que fornecem abrigo para insetos e aves, e podem ser habitados por uma diversa comunidade de plantas nativas e exóticas (TONIETTO *et al.*, 2011). A utilização de espécies vegetais que apresentam floração favorece a visitação de abelhas e outros insetos que são importantes agentes na polinização de espécies nativas e da agricultura. Recentes estudos realizados em países europeus comprovaram que telhados verdes apresentam maior biodiversidade de aves, aranhas, besouros e abelhas do que áreas descampadas no nível do solo, incluindo até espécies raras ou com risco de extinção (COLLA *et al.*, 2009).

Em relação a serviços ecossistêmicos de provisão, os telhados podem ser vegetados com agricultura urbana para cultivos de hortaliças, temperos e plantas medicinais. Ajustes em relação ao fornecimento de irrigação, adubação do solo, proteção contra o vento e profundidade dos substratos são necessários para atender as demandas das plantas cultivadas (WALTERS E MIDDEN, 2018). Apesar do substrato com altura inferior a 15 cm nos telhados extensivos, pesquisas indicam sucesso no cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*), pimenta (*Capsicum annum*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e cebolinha (*Allium schoenoprasum*) (OUELLETTE *et al.*, 2013, WHITTINGHILL *et al.*, 2013). Contudo, espécies com sistemas radiculares menores são mais indicadas, como alface (*Lactuca sativa*), couve de folhas (*Brassica oleraceae* var. *acephala*) e rabanete (*Raphanus sativus*). Em regiões de clima tropical, como em partes do Brasil, a diversidade de cultivos pode ser maior pela maior riqueza de espécies e condições climáticas favoráveis, possivelmente incluindo plantas como coentro (*Coriandrum sativum*), rúcula (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa*), almeirão (*Cichorium intybus* subsp. *intybus*), salsa (*Petroselinum crispum*), entre outras. É válido apontar que a agricultura em telhados verdes não substitui a produção em áreas rurais, em vez disso, oferece um complemento a produção de alimentos urbana ao adicionar uma fonte de produtos locais e frescos (WALTERS e MIDDEN, 2018).

POLÍTICAS PÚBLICAS ABORDANDO TELHADOS VERDES

Diversos países no globo introduziram políticas de incentivo a implantação de telhados verdes, sendo a maior parte delas aplicadas na Europa e na América do Norte, e apresentando alguns casos na América do Sul e Ásia (LIBERALESSO *et al.*, 2020). Essas políticas normalmente consistem em: reduções nos impostos, sobre a propriedade privada ou sobre os serviços de drenagem urbana, saneamento básico ou limpeza urbana; subsídios ou financiamentos com baixos juros; permissões para aumentar a área construída do lote; certificações ambientais; celeridade dos processos de licenciamento; e obrigações mediante legislações (SHAFIQUE *et al.*, 2018; LIBERALESSO *et al.*, 2020).

Exemplos de políticas aplicando a redução nos impostos, nos Estados Unidos, a Cidade do México aplica abatimentos de 10 a 25% no imposto anual sobre a propriedade dependendo do tipo de telhado verde instalado, e por outro lado, as cidades de Minneapolis e Portland oferecem abatimentos nas taxas de drenagem urbana de até 100%. Em relação a subsídios, os critérios para recebimento variam entre municipalidades, a exemplo da cidade de Frankfurt, na Alemanha, existe a exigência de o substrato apresentar profundidade superior a 8 cm, em contraste a cidade de Almelo, na Holanda, que requer capacidade de retenção de água de no mínimo 15 L por metro quadrado. No que tange legislações, a cidade de Port Coquitlam, no Canadá, requer que pelo menos 75% do telhado seja vegetado quando a área do prédio seja maior ou igual a 5000 m² (LIBERALESSO *et al.*, 2020).

Tais medidas apresentam resultados exitosos no que tange o aumento da aplicação de telhados verdes. Na Alemanha, 10% das casas são consideradas edificações verdes, além de apresentar um crescimento de 13.5 milhões de metros quadrado de telhado verde por ano. Na Suíça, 15% dos telhados foram convertidos em sistemas verdes. Além disso, 70% dos telhados de edifícios em Portland, nos Estados Unidos, foram adaptados para telhados verdes (BESIR E CUCE, 2018).

Nos países do Sul global, assim como no Brasil, a conjuntura política, econômica, social e de ordenamento territorial é diferente dos países do Norte. A ampla aplicação de telhados verdes enfrenta diversos obstáculos como a falta

de instrumentos para execução de políticas públicas e a carência de dados e informações técnicas sobre a tecnologia (GOLDENFUM *et al.*, 2007), inclusive sobre a performance dos telhados com vegetação nativa e sob condições climáticas regionais.

Dentre as medidas adotadas no Brasil, se destacam a redução do imposto anual sobre propriedade (IPTU), variando de 1,5 a 10%, nas cidades de Goiânia/GO, Guarulhos/SP, Salvador/BA e Santos/SP (LIBERALESSO *et al.*, 2020). Além disso, alguns estados brasileiros possuem legislação sobre telhados verdes, entre eles Rio de Janeiro, São Paulo, Porto Alegre, Recife e Paraíba (RANGEL *et al.*, 2015).

No Estado da Paraíba, a Lei Estadual nº 10.047, de 09 de julho de 2013, dispõe sobre condições nas quais os edifícios construídos deverão obrigatoriamente instalar telhados verde, como segue abaixo:

Art. 1º Os projetos de condomínios edificadas, residenciais ou não, com mais de 3 (três) unidades agrupadas verticalmente, protocolizados nas Prefeituras dos Municípios Paraibanos para aprovação a partir da data de promulgação da presente Lei, deverão prever a construção do “Telhado Verde”.

Adiante, a lei conceitua os telhados verdes como:

§ 1º Para os fins desta Lei, “Telhado Verde” é uma cobertura de vegetação arquitetada sobre laje de concreto ou cobertura, de modo a melhorar o aspecto paisagístico, diminuir a ilha de calor, absorver o escoamento superficial, reduzir a demanda de ar condicionado e melhorar o micro clima com a transformação do dióxido de carbono (CO₂) em oxigênio (O₂) pela fotossíntese.

§ 2º O “Telhado Verde” poderá ter vegetação extensiva ou intensiva, de preferência nativa, e deve resistir ao clima tropical e as variações de temperatura, além de usar pouca água, de modo a não servir de habitat de mosquitos como o *Aedes aegypti*.

Art. 2º Somente será admitido como “Telhado Verde” a vegetação composta basicamente das seguintes camadas:

- I – impermeabilização;
- II – proteção contra raízes;
- III – drenagem;
- IV – filtragem;
- V – substrato; e
- VI – vegetação.

Ademais, institui:

Art. 3º A área destinada pelas construções edificadas ao “Telhado Verde” será considerada, para todos os efeitos, como tendo as mesmas características de área permeável.

Por fim, determina:

Art. 4º Para a consecução do “Telhado Verde”, o Poder Executivo fica autorizada a promover cursos e palestras para a divulgação das técnicas imprescindíveis à realização do projeto, como estrutural, tipos de vegetação e substrato.

Art. 5º Ulterior disposição regulamentar desta Lei definirá o detalhamento técnico de sua execução.

REFERÊNCIAS (da introdução e da fundamentação teórica)

AUSTIN, G. Green Infrastructure for Landscape Planning: Integrating human and natural systems. 1 ed. Routledge, 2014. doi: 10.4324/9781315856780

AZEÑAS, V.; JANNER, I.; MEDRANO, H.; GULÍAS, J. Performance evaluation of five Mediterranean species to optimize ecosystem services of green roofs under water-limited conditions. *Journal of Environmental Management*, 212, 236–247, 2018. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.021

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. *Water Research*, 70, 370–384, 2015. doi: 10.1016/j.watres.2014.12.015

BENEDICT, M.A.; MCMAHON, E. Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. *Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series*. Washington DC: Sprawl Watch Clearinghouse, 2002.

BERNDTSSON, J.C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351–360, 2010. doi: 10.1016/j.ecoleng.2009.12.014

BESIR, A.B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915–939, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2017.09.106

BIANCHI F.J.J.A.; BOOIJ C.J.H.; TSCHARNTKE T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc R Soc Biol Sci Ser B*, 273, 1715–1727, 2006. doi: 10.1098/rspb.2006.3530.

BOLLMAN, M.A.; DESANTIS, G.E.; WASCHMANN, R.S.; MAYER, P.M. Effects of shading and composition on green roof media temperature and moisture. *Journal of Environmental Management*, 281, 111882, 2021. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111882

BUSKER, T.; MOEL, H.; HAER, T.; SCHMEITS, M.; HURK, B.V.D.; MYERS, K.; CIRKEL, D.G.; AERTS, J. Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. *Journal of Environmental Management*, 301, 113750, 2022. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113750

CALHEIROS, C.S.C.; STEFANAKIS, A.I. Green Roofs Towards Circular and Resilient Cities. *Circular Economy and Sustainability*, 2021. doi: 10.1007/s43615-021-00033-0

CARTER, T.; FOWLER, L. Establishing Green Roof Infrastructure Through Environmental Policy Instruments. *Environmental Management*, 42, 151-164, 2008. doi: 10.1007/s00267-008-9095-5

CARTER, T.; KEELER, A. Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87, 350–363, 2008. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.01.024

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A.; DA SILVEIRA, A. L.; DALLAGNOL, A. L. B.; LOEBENS, L.; DEMARCO, C. F.; LEANDRO, D.; NADALETI, W.; QUADRO, M. S. The analysis of green roof's runoff volumes and its water quality in an experimental study in Porto Alegre, Southern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020. doi: 10.1007/s11356-019-06777-5

CIPOLLA, S.S.; MAGLIONICO, M.; STOJKOV, I. A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering*, 95, 876-887, 2016. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.07.009

COLLA, S.R.; WILLIS, E.; PACKER, L. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae)? *Cities and the Environment*, 2(1): 12-23, 2009.

COUTTS, C.; HAHN, M. Green Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9768–9798, 2015. doi: 10.3390/ijerph120809768

DUNNETT N.P.; KINGSBURY N. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland (OR): Timber Press. 2004.

DUNNETT, N. Ruderal green roofs. In: *Green roof ecosystems*. Springer, Cham. 233-255, 2015.

EUROPEAN COMMISSION. *Green Infrastructure (GI) - Enhancing Europe's Natural Capital*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, Belgium, 2013.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. Retrofitted green roofs and walls and improvements in thermal comfort. *AIP Conference Proceedings*, 1856, 020006, 2017. doi: 10.1063/1.4985558

FLL. 2018. *Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites*. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn, Germany.

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*, 28, 167–176, 2017. doi: 10.1016/j.ufug.2017.10.015

FRAZER, L. Paving paradise. *Environmental Health Perspectives* 113: 457–462, 2005.

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

GOLDENFUM, J.A.; TASSI, R.; MELLER, A.; ALLASIA, D.G.; SILVEIRA, A.L. Challenges for the sustainable urban stormwater management in developing countries: from basic education to technical and institutional issues. *NOVATECH* 2007, 357-364, 2007.

HAINES-YOUNG R.H., POTSCHIN M.B. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Fabis Consulting Ltd . 2018. url: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>

HASHEMI, S. S. G.; MAHMUD, H. B.; ASHRAF, M. A. Performance of green roofs with respect to water quality and reduction of energy consumption in tropics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (52), 669-679, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.163

HE, Y.; YU, H.; DONG, N.; YEC, H. Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai. *Energy and Buildings*, 127, 762-773, 2016. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.016

JELÍNKOVÁ V.; DOHNAL, M.; PICEK, T. A Green Roof Segment for Monitoring the Hydrological and Thermal Behaviour of Anthropogenic Soil Systems. *Soil & Water Res.*, 10 (4), 262–270. 2015. doi: 10.17221/17/2015-SWR

JIM, C.Y. Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants. *Sustainable Cities and Society*, 35, 69–82, 2017. doi: 10.1016/j.scs.2017.08.001

KIM, W. H.; PARK, Y. Urban Green infrastructure and local flooding: The impact of landscape patterns on peak runoff in four Texas MSAs. *Appl Geogr.* 77, 72-81, 2016. doi: 10.1016/j.apgeog.2016.10.008

KÖHLER, M. Long-term vegetation research on two extensive green roofs in Berlin. *Urban Habitats*. 4, 3-26, 2006.

LIBERALESSO, T.; OLIVEIRA CRUZ, C.; MATOS SILVA, C.; MANSO, M. Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use Policy*, 96, 104693, 2020. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104693

LODER, A. “There’s a meadow outside my workplace’: A phenomenological exploration of aesthetics and green roofs in Chicago and Toronto. *Landscape and Urban Planning*, 126, 94–106, 2014. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.01.008

LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3ª ed. Plantarum, Nova Odessa, Brasil, 2000, 620p.

LUGO, A.E.; RULLAN, J. The conservation message of the rehabilitated facilities of the International Institute of Tropical Forestry. Res. Note IITF-RN-2. U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, PR, 2015, 49 p.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotrop.* 1, 1–9, 2001.

NAGASE, A.; DUNNETT, N. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and urban planning*, 97, 4, 318-327, 2010.

NAWAZ, R.; MCDONALD, A.; POSTOYKO, S. Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecological Engineering*, 82, 66–80, 2015. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.11.061

NOYA, M. G.; CUQUEL, F.L.; SCHAFER, G.; ARMINDO, R. A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 102, 662-669, 2017. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.02.042.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10): 823-833, 2007. doi: 10.1641/B571005

OUELLETTE, N.A.; WALTERS, S.A.; MIDDEN, K.S. Fertility management for tomato production on an extensive green roof. *J. Living Archit.*, 1, 1–14, 2013.

RANGEL, A.C.L.DAC.; ARANHA, K.C.; DA SILVA, M.C. B.C. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 35, 2015. doi: 10.5380/dma.v35i0.39177

RIGHI, D. P.; KOHLER, L. G.; ANTOCHEVES, R.; SANTOS NETO, A. B. da S.; MOHAMAD, G. Cobertura verde: um uso sustentável na construção civil. *MIX Sustentável*, 2 (2), 29–36, 2016. doi: 10.29183/2447-3073.MIX2016.v2.n2.29-36

ROSSITER, D.G. Classification of urban and industrial soils in the World Reference Base for soil resources. *Journal of Soils Sediments*, 7: 96–100. 2007.

SÁ, T.S.W.; NAJJAR, M.K.; HAMMAD, A.W.A.; VAZQUEZ, E.; HADDAD, A. Assessing rainwater quality treated via a green roof system. *Clean Techn Environ Policy*, 2021. doi: 10.1007/s10098-021-02144-6

SANTOS, E. Distribuição de recursos florais de plantas melitófilas em uma área em restauração florestal em Holambra, São Paulo, Brasil. Dissertação. Programas de Pós-Graduação Agricultura e Ambiente. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. 2019. url: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/12705/SANTOS_Elisangela_2019.pdf?sequence=6&isAllowed=y

SAVI, A. C.; TAVARES, S. F. Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais na retenção de água de chuva. *Revista de Arquitetura IMED*, 7(1), 50-67, 2018. ISSN: 2318-1109. url: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2647>

SAWYER, P. *The Oxford illustrated history of the Vikings*. Oxford University Press, Oxford, 1997.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; RAFIQ, M. Green roof benefits, opportunities and challenges—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773, 2018.

SIMMONS, M. T. Climates and Microclimates: Challenges for Extensive Green Roof Design in Hot Climates. In: *Green Roof Ecosystems*, Springer, Cham. 63–80, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-14983-7_3

ŠPERAC, M.; OBRADOVIC, D. Parameters of interest for the design of green infrastructure. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 13(1), 92-101, 2019. doi: 10.4090/juee.2019.v13n1.092101.

SILVA, B.R. *Telhados verdes em clima tropical: Uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica*. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Coppe - Rio de Janeiro. 2016.

TEMPANY, A.; ARMOUR, T. *Nature of the City: Green Infrastructure from the Ground Up*. 1 ed. RIBA Publishing, 2020. doi: 10.4324/9781003021322

TONIETTO, R.; FANT, J.; ASCHER, J.; ELLIS, K.; LARKIN, D. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning*, 103(1), 102–108, 2011. doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.07.004

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740-752, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.119

WALKER, E. A.; LUNDHOLM, J. T. Designed habitat heterogeneity on green roofs increases seedling survival but not plant species diversity. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 694–704, 2017. doi: 10.1111/1365-2664.12970

WALTERS, S.; MIDDEN, K. S. Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs. *Agriculture*, 8(11), 168, 2018. doi: 10.3390/agriculture8110168

WANG, J.; BANZHAF, E. Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. *Ecological Indicators*, 85, 758–772, 2018. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.09.018

WHITTINGHILL, L. J.; ROWE, D. B.; CREGG, B. M. Evaluation of Vegetable Production on Extensive Green Roofs. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(4), 465–484, 2013. doi: 10.1080/21683565.2012.756847

WILLIAMS, K. J. H.; LEE, K. E.; SARGENT, L.; JOHNSON, K. A.; RAYNER, J.; FARRELL, C.; MILLER, R. E.; WILLIAMS, N. S. G. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126399, 2019. doi: 10.1016/j.ufug.2019.126399

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7266–7273, 2008. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.003

ZAHIR, M. H. M.; RAMAN, S. N.; MOHAMED, M. F.; JAMILAND, M.; NOPIAH, Z. M. The Perception of Malaysian Architects towards the Implementation of Green Roofs: A Review of Practices, Methodologies and Future Research. *E3S Web of Conferences*, 3, 01022, 2014. doi: 10.1051/e3sconf/20140301022

ZELLNER, M.; MASSEY, D.; MINOR, E.; GONZALEZ-MELER, M. Exploring the effects of green infrastructure placement on neighborhood-level flooding via spatially explicit simulations. *Comput Environ Urban*, 59: 116-128, 2016. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.008

CAPÍTULO 1

Plantas ruderais apresentam crescimento e floração satisfatórios em telhados verdes de ambientes tropicais costeiros?¹

INTRODUÇÃO

Os telhados verdes são ecossistemas construídos, classificados como uma tecnologia biomimética, seus componentes estruturais reproduzem propriedades da vegetação do nível do solo que não existem em telhados convencionais (OBERNDORFER *et al.*, 2007; CIPOLLA *et al.*, 2016). Quando são do tipo extensivo (apresentam menor profundidade de substrato entre 5 e 15 cm, são mais leves e baratos), requerem menor manutenção e suportam tipos vegetais mais tolerantes, como suculentas, gramíneas e ervas. Por outro lado, o tipo intensivo (com profundidade de substrato superior a 15 cm, maior sobrecarga estrutural e custo) suporta ampla diversidade de plantas incluindo arbustos e arvores, e conseqüentemente, requerem manutenção equivalente a um jardim (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Essa tecnologia é tida como uma medida para a melhoria da saúde urbana nas cidades através da promoção de serviços ecossistêmicos, como redução da poluição atmosférica e sonora, melhoria do conforto térmico em edifícios e nas cidades, redução do escoamento superficial, promoção da biodiversidade urbana, beleza estética e benefícios sociais, como a provisão de bem-estar e de experiências restauradoras (YANG *et al.*, 2008; CARTER e FOWLER, 2008; COLLA *et al.*, 2009; BERNDTSSON, 2010; TONIETTO *et al.*, 2011; CIPOLLA *et al.*, 2016; WILLIAMS *et al.*, 2019). Além disso, é possível a utilização dos telhados verdes para cultivos de agricultura urbana (WALTERS e MIDDEN, 2018).

Nos últimos 50 anos, foram desenvolvidas extensas pesquisas sobre os telhados verdes, resultando na criação de regulamentações para orientar o planejamento, execução e manutenção dessas estruturas, a exemplo norma alemã “Diretrizes para o planejamento, execução e manutenção de locais com

¹ Artigo a ser submetido para a revista Landscape and Urban Planning.

telhados verdes” (FLL, 2018) e estado-unidense “Telhados verdes para o controle de escoamento águas pluviais” (USEPA, 2009). Tais diretrizes foram construídas majoritariamente a partir de pesquisas com diversidade de plantas e de recursos disponíveis em países de clima frio e temperado (WILLIAMS *et al.*, 2019).

Poucos estudos avaliaram a performance de telhados verdes em climas tropicais (LUGO e RULLAN, 2015). A região dos trópicos apresenta a maior biodiversidade do planeta e condições climáticas distintas dos climas temperados (PENKOVA *et al.*, 2020). Dependendo da região geográfica, as localidades podem apresentar clima árido com altas temperaturas e severos eventos de estiagem prolongada, como também clima úmido com chuvas intensas em determinadas épocas do ano.

No que tange a cobertura vegetal, as espécies de plantas suculentas são as mais difundidas para a composição dos telhados verdes, em especial do gênero *Sedum*. Estas apresentam como características lento crescimento vegetal e alta tolerância ao estresse hídrico e incidência solar (OBERNDORFER *et al.*, 2007; SIMMONS, 2015). Contudo, uma ampla diversidade de plantas com diferentes origens e tipos funcionais vêm sendo investigada para comporem a vegetação dos telhados, incluindo herbáceas, gramíneas, leguminosas, arbustos, dentre outras (COOK-PATTON e BAUERLE, 2012).

Na Europa, a utilização de plantas ruderais em telhados verdes foi inicialmente categorizada como “brown roofs”, devido ao aspecto semelhante aos campos amarronzados que ocorriam em algumas épocas do ano. Contudo, diante dos benefícios associados ao aumento da biodiversidade vegetal, tanto na resiliência da comunidade vegetal quanto na atração de polinizadores pela ocorrência de floração abundante, esses tipos de telhados verdes passaram a ser chamados de telhados biodiversos (DUNNETT, 2015).

A dinâmica da vegetação, tendo em vista a alta capacidade de regeneração natural das plantas ruderais, é o princípio central para o sucesso da cobertura vegetal. O aumento da biodiversidade pela utilização de plantas com diferentes formas de adaptação ao meio tende a aumentar a estabilidade do sistema (VAN MECHELEN *et al.*, 2015). A Teoria Adaptativa Universal (GRIME e PIERCE, 2012) é um útil modelo para entender os processos dinâmicos e interações ecológicas em comunidades vegetais, assim possibilitando melhorias no

gerenciamento dos telhados verdes. O modelo classifica as plantas em três tipos funcionais: competidoras, tolerantes ao estresse e ruderais. As competidoras são pouco resistentes a estresses ou perturbações, contudo são dominantes em condições favoráveis. As tolerantes, apresentam lento crescimento e estratégias adaptativas para suportar estresses, como déficit hídrico ou altas e baixas temperaturas. As ruderais, por sua vez, são altamente adaptadas a regeneração após perturbações, por apresentarem como estratégia reprodutiva a produção de grande quantidade de sementes, facilmente dispersáveis e com rápida capacidade de germinação. As plantas comumente apresentam combinações intermediárias dentre esses tipos extremos.

Em telhados verdes, a fim de maximizar a utilização de plantas ruderais, a profundidade da camada de substrato e sua composição são fatores fundamentais para o bom estabelecimento da cobertura vegetal. Visto que substratos pobres e rasos não permitiram o crescimento das plantas ruderais até a fase reprodutiva, etapa necessária para liberação de sementes e manutenção da cobertura ao longo do tempo, possivelmente, apenas sobrevivendo espécies tolerantes. Por outro lado, em substratos profundos e produtivos as espécies competidoras iram dominar sobre as demais. Dessa forma, são nas características intermediárias de profundidade e nutrição dos substratos onde as plantas ruderais encontram as melhores condições para estabelecimento (DUNNETT, 2015).

A biodiversidade de plantas nativas e ruderais, compõem um leque de possibilidades para a criação de composições vegetais em telhados verdes. A semeadura de conjuntos de sementes ou incorporação da camada superficial do solo, contendo um banco de sementes, na formulação do substrato são formas de iniciar a ocupação vegetal de telhados verdes (DUNNETT, 2015; BRENNEISEN, 2006). O manejo da vegetação objetiva através de uma abordagem mais sustentável contribuir para o estabelecimento de uma comunidade vegetal com características distintas, adaptadas localmente e com valor estética agregado.

No Brasil, não existem estudos avaliando a utilização de espécies ruderais em telhados verdes extensivos. Assim, o objetivo do presente estudo é avaliar ciclo de vida e a fenologia reprodutiva e vegetativa de duas espécies ruderais, *Richardia grandiflora* (Rubiaceae) e *Tridax procumbens* (Asteraceae), em sistema

de monocultivo em telhado verde extensivo. A hipótese é que espécies ruderais apresentam satisfatório crescimento da cobertura vegetal e floração em telhados verdes em regiões tropicais costeiras. Os resultados são discutidos frente às vantagens e desvantagens da utilização de espécies ruderais em telhados vegetados.

METODOLOGIA

Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na cidade de João Pessoa, Paraíba, localizada na costa litorânea do nordeste brasileiro (34°47'30"/ 7°09'28") com população de 723 mil habitantes (IBGE, 2011). Apresenta classificação climática segundo Koppen de As', sendo o clima quente e úmido, com temperatura média entre 25 a 26 °C e umidade relativa do ar de 80%, além de apresentar chuvas de outono e inverno, atingindo precipitação média anual de 2000 a 2400 mm (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2008). A vegetação integra o bioma Mata Atlântica, com destaque para os ecossistemas de Mata de Tabuleiro, Restinga e Manguezal (JOÃO PESSOA, 2012).

Os protótipos de telhado verde foram dispostos em 4 pontos da cidade (Figura 1), identificados pelos bairros de Bancários (-7.1587, -34.8337), Funcionários (-7.1793, -34.8916), Jacarapé (-7.1968, -34.8208) e Castelo Branco (-7.1379, -34.8455).

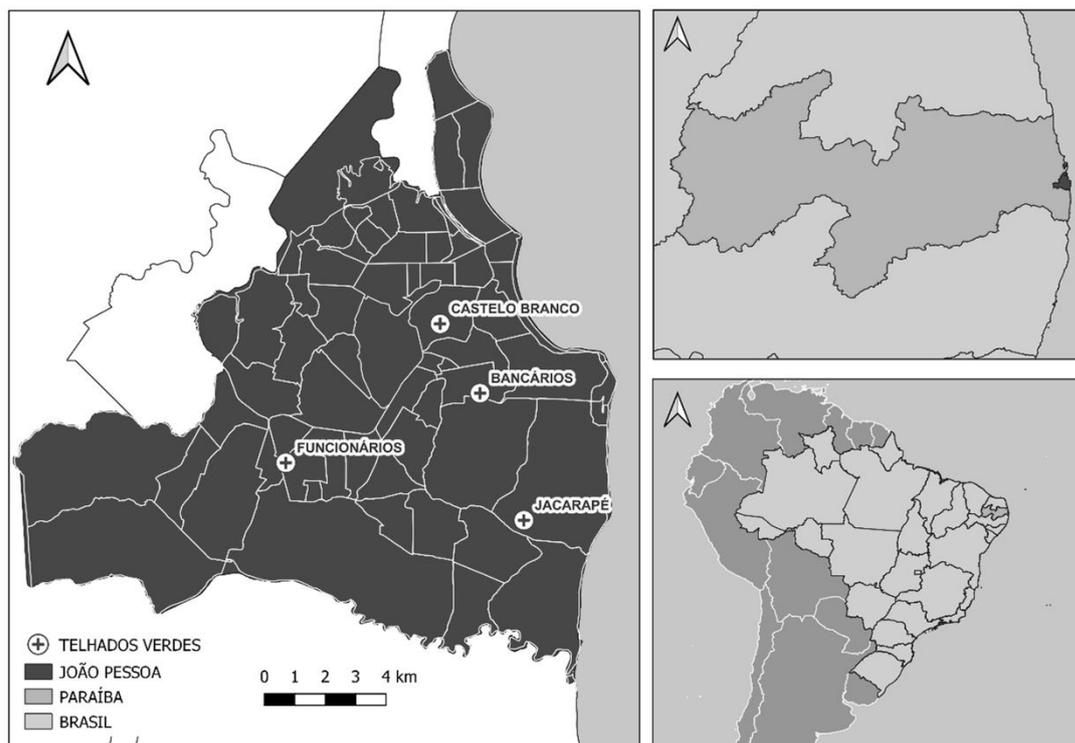


Figura 1. Localização dos protótipos em João Pessoa, Paraíba, Brasil

Sistema e espécies de estudo

Foram utilizados protótipos de telhado verde, construídos em estrutura de madeira impermeabilizada, de modo a replicar em menor escala, com área de 4.8 m² (3 m x 1,6 m x 0,2 cm), o tipo de telhado verde extensivo aplicado comercialmente. Cada protótipo foi subdividido em 10 caixotes com dimensões de 0,7 m x 0,58 m, não conectados entre si. As dimensões utilizadas foram baseadas em trabalhos com experimentação em protótipos (WALKER e LUNDHOLM, 2017; MONTEIRO *et al.*, 2017; CIPOLLA *et al.*, 2016; AZENAS *et al.*, 2018; TRAN *et al.*, 2019). Do fundo ao topo da estrutura, as camadas seguiram pela impermeabilização consistindo no revestimento interno com manta de polietileno, seguido pela camada de drenagem com 3 cm de argila expandida, camada filtrante com a manta geotêxtil não-tecido BIDIM e camada de substrato com 15 cm. O substrato utilizado foi composto de camada superficial de solo local, fibra do coco, areia grossa, vermiculita e composto orgânico, com fórmula adaptada da literatura mediante a disponibilidade de

materiais localmente (NOYA *et al.*, 2017; VIJAYARAGHAVAN e RAJA, 2014; NEKTARIOS *et al.*, 2011; AMPIM *et al.*, 2010).

Nos bairros Castelo Branco (Figura 2A) e Bancários (Figura 2C), os protótipos foram instalados no terceiro andar de um prédio, enquanto que em Jacarapé (Figura 2B) e Funcionários (Figura 2D) foram instalados em área aberta a 1,5m do nível do solo. Os protótipos foram instalados com a extensão do comprimento na direção leste-oeste nos 4 locais, além de receberem incidência solar direta. Cada protótipo, subdividido em 10 caixotes, recebeu 2 espécies de plantas como cobertura vegetal que foram plantadas separadamente, de modo a configurar 5 réplicas (caixotes) por espécie (Figura 2).

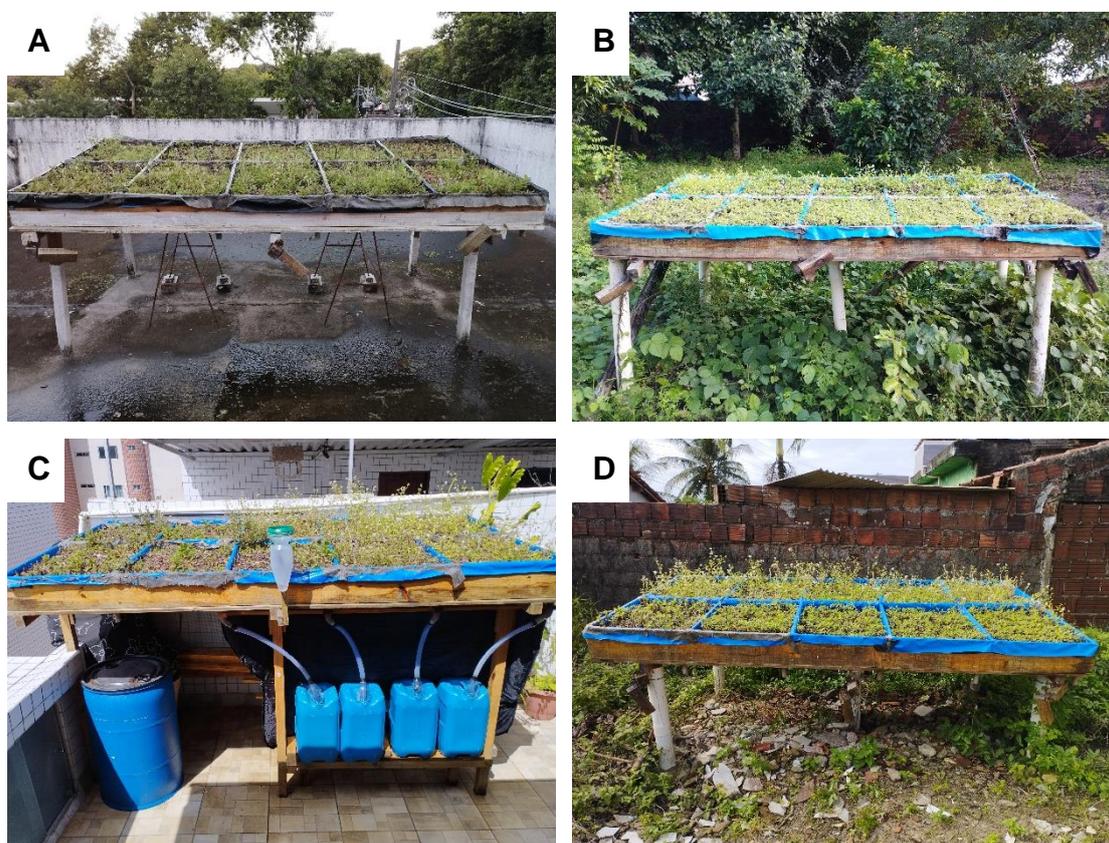


Figura 2. Protótipos experimentais de telhados verdes instalados nos bairros indicados, A: Castelo Branco (UFPB); B: Jacarapé; C: Bancários; D: Funcionários.

Diante das adversas condições climáticas observadas nos telhados, como excesso de incidência solar, extremos hídricos e vento, o sucesso do

estabelecimento das plantas dependem de estratégias de povoamento que permitam a manutenção da cobertura vegetal ao longo das estações (OBERNDORFER *et al.*, 2007), além disso aspectos de beleza estética e floração intensa são desejáveis sob a ótica da multifuncionalidade dos telhados verdes. Para a escolha das plantas, alguns autores sugerem a busca na diversidade da flora local, levando em consideração características funcionais e pertencimento a ambientes com condições climáticas similares á encontrada nos telhados verdes (CATALANO *et al.*, 2018). Como não havia estudos prévios referente a utilização de plantas ruderais em telhados verdes, foi realizado um levantamento de campo e na literatura acerca de espécies que possivelmente fossem aptas a ocupar telhados verdes, de modo a apresentarem rusticidade, intensa floração, adaptação a perturbações, capacidade de rebrota e alta produção de sementes. Assim, as plantas escolhidas foram as herbáceas ruderais *Richardia grandiflora* (Cham. & Schltl.) Steud. (Rubiaceae) e *Tridax procumbens* L. (Asteraceae) (Figura 3) por atenderem às características levantadas e apresentarem adaptação a ambientes antropizados (MOREIRA e BRAGANÇA, 2010; CRUZ e MARTINS, 2014).



Figura 3. Espécies utilizadas como cobertura vegetal, A) *Tridax procumbens* e B) *Richardia grandiflora*.

A montagem dos protótipos de telhados verde nos quatro locais ocorreu entre fevereiro e maio de 2021. A coleta de sementes e preparo das mudas foi realizado entre abril e maio de 2021 (Figura 4). A espécie *T. procumbens*

apresentou alta taxa de germinação nas bandejas, sendo possível o preparado de mudas. Contudo, *R. grandiflora* não germinou nas bandejas, como alternativas foram coletados ramos para plantio por estacas. O plantio de 12 indivíduos por caixote ocorreu em junho de 2021, período de chuvas em João Pessoa, sendo equivalente a 30 plantas por m². As plantas foram irrigadas durante as duas semanas iniciais, após esse período não foi aplicado qualquer irrigação ou suplementação adicional, recebendo apenas água proveniente da precipitação natural.

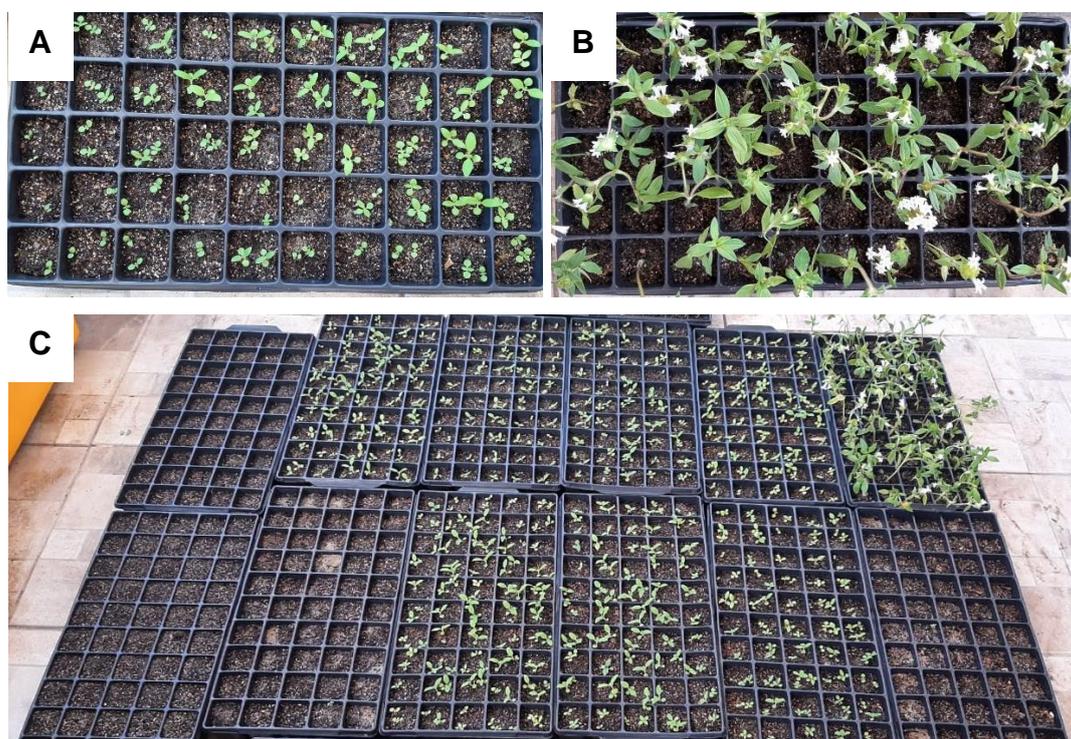


Figura 4. Produção de mudas iniciais das espécies A) Germinação de *Tridax procumbens* B) Estaquia de *Richardia grandiflora* C) Bandejas com mudas.

Coleta de dados

Para avaliar o desenvolvimento das plantas, foi realizado o monitoramento quinzenal da fenologia vegetativa e reprodutiva, de junho de 2021 a junho de 2022. A avaliação da cor/vigor das plantas, considerando aspectos de amarelamento, queda foliar e mortalidade (AZENAS *et al.*, 2018; NAGASE e DUNNETT, 2010), assim como a floração e frutificação seguiram o método de avaliação semiquantitativa, com a aplicação de categorias de quantificação que

estimam a intensidade do evento fenológico em cada indivíduo (caixotes). Foram utilizadas cinco categorias de quantificação (0 a 4), com intervalo de 25% entre elas, de modo que o valor do índice aumenta à medida que a resposta do evento é mais intensa (Índice de Intensidade de Fournier, BENCKE e MORELLATO, 2002). A quantidade de ramos foi acompanhada em 5 indivíduos (plantas) marcados em cada caixote, a escolha foi realizada de forma aleatória. A germinação foi aferida como presente ou ausente nos caixotes.

Análise de dados

Para analisar as fenofases de cada espécie ao longo do ano foi realizada uma estatística circular a partir do teste de Rayleigh de Uniformidade. Nessa análise, foram consideradas as fenofases de floração, frutificação e número de ramos produzidos. Para tal, foi usada a média das observações dos caixotes de cada espécie em cada local. Os dias de coletas (2 por mês) foram convertidos em ângulos (considerando-se 1 de janeiro = 0° e 31 de dezembro = 359°). Nessa análise, obtêm-se os ângulos médios e o desvio padrão para a frequência das diferentes fenofases, as datas médias das fenofases e a significância pelo teste de Rayleigh. Todos os testes foram realizados no Programa RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020).

RESULTADOS

Tanto *Richardia grandiflora* quanto *Tridax procumbens* apresentaram fenofases bem definidas e com múltiplos picos, principalmente de floração e frutificação. As fenofases reprodutivas e vegetativas das duas espécies ocorreram no período chuvoso de março a setembro, além de apresentarem pequena resposta durante as chuvas de verão em dezembro e janeiro (Figura 5). Os períodos de floração e a frutificação foram coincidentes para cada espécie (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D), apresentando os picos de frutificação em menos de 30 dias após os picos de floração (Tabela 1).

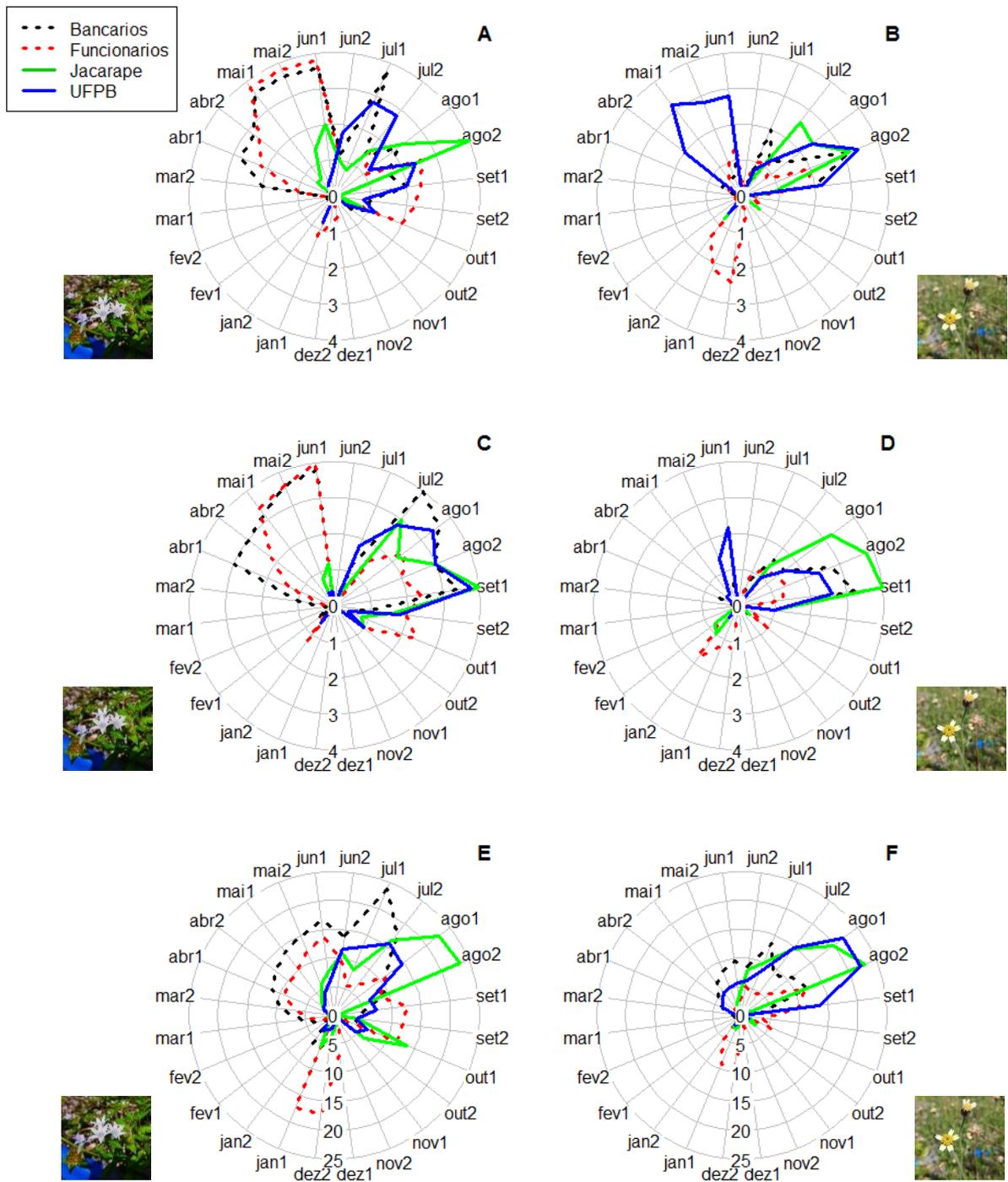


Figura 5. Floração, frutificação e crescimento vegetativo de *Richardia grandiflora* (A, C e E, respectivamente) e de *Tridax procumbes* (B, D e F, respectivamente) em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil. Preto = Bancários, vermelho = Funcionários, verde = Jacarapé; azul = UFPB.

Tabela 1. Análise da sincronicidade no comportamento reprodutivo e vegetativo das espécies *Richardia grandiflora* e *Tridax procumbes* em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil.

| | | Bancários | Funcionários | Jacarapé | UFPB |
|------------------------------|----------------------------|-----------|--------------|----------|---------|
| <i>Richardia grandiflora</i> | Data Média Floração | 20/Jun | 27/Jun | 29/Jul | 16/Aug |
| | Rayleigh Test | 0.5990 | 0.4476 | 0.8333 | 0.8639 |
| | P-value | > 0.001 | 0.0046 | 0.0001 | > 0.001 |
| | Data Média Frutificação | 30/Jun | 12/Jul | 28/Aug | 29/Aug |
| | Rayleigh Test | 0.6003 | 0.4579 | 0.8663 | 0.8981 |
| | P-value | > 0.001 | 0.0035 | > 0.001 | > 0.001 |
| | Data Média Crescimento | 19/Jun | 15/Jul | 13/Aug | 5/Aug |
| | Rayleigh Test | 0.4720 | 0.1369 | 0.5827 | 0.6122 |
| | P-value | > 0.001 | 0.0343 | > 0.001 | > 0.001 |
| <i>Tridax procumbes</i> | Data Média Floração | 13/Aug | 25/Sep | 17/Aug | 6/Jul |
| | Rayleigh Test | 0.8812 | 0.1334 | 0.9755 | 0.6507 |
| | P-value | > 0.001 | 0.814 | > 0.001 | 0.0004 |
| | Data Média Frutificação | 3/Sep | 30/Sep | 4/Sep | 9/Aug |
| | Rayleigh Test | 0.9496 | 0.373 | 0.8176 | 0.7594 |
| | P-value | > 0.001 | 0.294 | > 0.001 | 0.0014 |
| | Data Média Crescimento | 7/Jul | 20/Sep | 5/Aug | 1/Aug |
| | Rayleigh Test | 0.6483 | 0.2717 | 0.6861 | 0.6771 |
| | P-value | > 0.001 | 0.0024 | > 0.001 | > 0.001 |

A espécie *R. grandiflora* apresentou melhor desempenho do que a *T. procumbes*, em relação ao índice de floração (*Richardia*: 1.054 ± 1.195 ; *Tridax*: 0.692 ± 0.953), de frutificação (*Richardia*: 1.083 ± 1.344 ; *Tridax*: 0.595 ± 0.907) e ao crescimento vegetativo (*Richardia*: 6.707 ± 5.929 ; *Tridax*: 4.335 ± 5.270). Além disso, *R. grandiflora* demonstrou ser mais resistente durante as transições entre os períodos chuvoso e seco, de modo a apresentar crescimento nos meses de março e outubro, ao contrário da *T. procumbes* (Fig. 1E e 1F).

O desenvolvimento variou entre os bairros (Figura 6 e 7). *Richardia grandiflora* apresentou melhor desempenho nos bairros Bancários (floração: 1.408 ± 1.362 ; frutificação: 1.500 ± 1.558 ; crescimento: 8.326 ± 6.250) e Funcionários (floração: 1.408 ± 1.275 ; frutificação: 1.258 ± 1.315 ; crescimento: 7.915 ± 5.224). Por outro lado, para *T. procumbes* não houve destaque de um mesmo bairro no desempenho vegetativo e reprodutivo, no entanto, a maior

produção de flores ocorreu na UFPB (floração: 0.908 ± 1.230), enquanto as médias de frutificação e do crescimento vegetativo foram similares entre os bairros. Em relação ao índice de cor e vigor, a espécie *R. grandiflora* (cor: 2.140 ± 1.340) foi superior a *T. procumbes* (cor: 1.193 ± 1.295) (Figura 7).

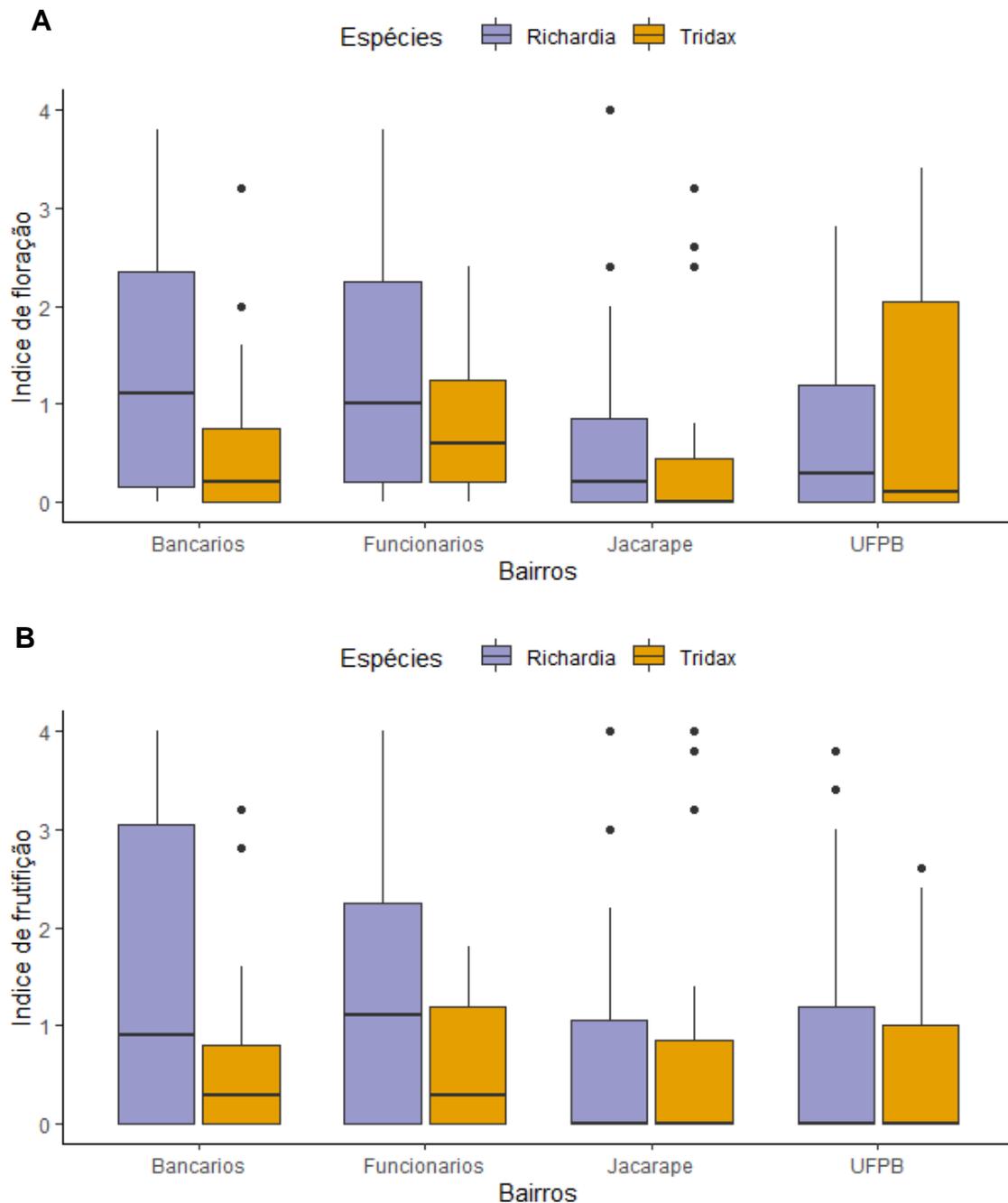


Figura 6. Índice de A) floração e B) frutificação das espécies *R. grandiflora* e *T. procumbes* por bairros em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil.

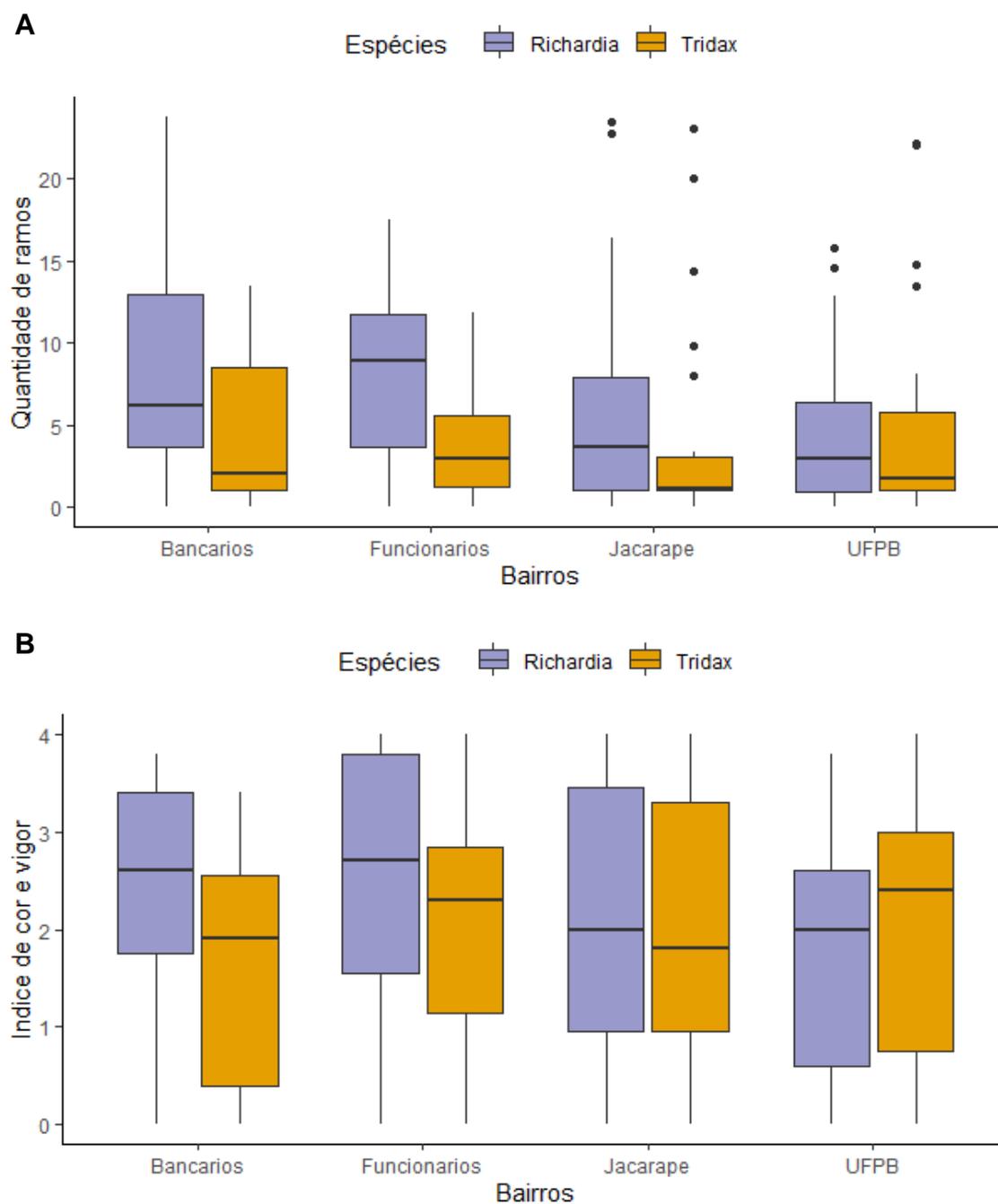


Figura 7. Índice de A) quantidade de ramos e B) cor e vigor das espécies *R. grandiflora* e *T. procumbes* por bairros em protótipos de telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil.

O povoamento inicial dos protótipos ocorreu mediante o transplante de mudas em junho/2021. Após os primeiros ciclos reprodutivos, foi percebido o estabelecimento de um banco de sementes. De modo que, a germinação espontânea de *R. grandiflora* e *T. procumbes* ocorreram 60 dias e 30 dias após o início de experimento, respectivamente.

Nos meses sem chuvas, outubro, novembro, fevereiro e março, as plantas não suportaram o déficit hídrico causando a mortalidade da cobertura vegetal. Com o retorno das chuvas, ocorreu o repovoamento espontâneo dos telhados (Figura 8). Ambos os eventos foram marcados por alta taxa de germinação, chegando a quantidades maiores do que cem plantas por caixotes em Jacarapé e Funcionários, um valor quase 8 vezes maior do que a quantidade inicial de 12 plantas por caixote. Apesar do alto índice de cor e vigor inicial, a grande número de plantas germinadas lado a lado retardou o crescimento coletivo, reduzindo a quantidade de ramos, especialmente na *T. procumbes*.



Figura 8. Aspecto do protótipo de telhado verde extensivo, com caixotes de *Tridax procumbes* (esquerda) e *Richardia grandiflora* (direita), na cidade de João Pessoa, PB, nordeste do Brasil, em período A) com chuvas e B) seco.

Apesar da pouca duração das chuvas de verão, em dezembro e janeiro, o crescimento das plantas (*Richardia*: 5.777 ± 2.753 ; *Tridax*: 3.193 ± 0.387) ainda permitiu o estabelecimento mínimo da floração, dessa vez com destaque *T. procumbes* apresentando maior rapidez para emissão de flores (*Richardia*: 0.283 ± 0.284 ; *Tridax*: 0.683 ± 0.144) e frutos (*Richardia*: 0.183 ± 0.318 ; *Tridax*: 0.483 ± 0.318).

Não houve tratamento para remoção de sementes previamente contidas no solo utilizado na composição do substrato. Assim, com exceção das espécies estudadas, em todas as coletas foram removidas outras plantas que germinaram no substrato. Ocorreu a germinação das espécies *Commelina benghalensis* L., *Trianthema portulacastrum* L., *Portulaca oleraceae* L., *Ipomoea hederifolia* L., *Euphorbia hirta* L., *Euphorbia hyssopifolia* L., *Phyllanthus amarus* Schumach., *Pilea microphylla* L. Liebm., *Tribulus terrestris* L., dentre outras cinco espécies não identificadas.

DISCUSSÃO

Em João Pessoa, nordeste do Brasil, com o clima quente e marcado por extremos de intensa chuva no inverno e prolongada estiagem no verão, ambas as espécies ruderais, *R. grandiflora* e *T. procumbes*, apresentaram bom desempenho em monocultivo de telhados verdes extensivos (com 15 cm de substrato). Durante o período chuvoso, houve uma resposta claramente mais robusta tanto em relação ao crescimento vegetativo quanto à floração. Contudo, nenhuma das espécies suportou o período seco. Em clima tropical, onde a incidência solar é maior do que no clima temperado, as funções ecológicas dos telhados verdes são diretamente afetadas por extremos térmicos e hídricos (SIMMONS, 2015).

A floração abundante e distribuída em torno de 6 meses do ano no telhado verde, em ambas as espécies, demonstra que *R. grandiflora* e *T. procumbes* podem ser uma boa opção para a formação de telhados verdes. Considerando os serviços ecossistêmicos que os telhados verdes podem prover, a disponibilidade de flores por vários meses torna essas espécies importantes fontes de néctar e pólen para a guilda de polinizadores, de forma a promover a suplementação de habitat, outrora perdido pela intensa mudança na cobertura

do solo (BROWN e FREITAS, 2002). *Richardia grandiflora* já foi identificada como uma planta ruderal de ampla distribuição, sendo registrada com floração ao longo de todo ano no Sudeste (São Paulo) (ALEIXO *et al.*, 2014; SANTOS, 2019) e no Nordeste (Paraíba) do Brasil (SILVA *et al.* 2008). Além disso, *R. grandiflora* teve grande importância para a biodiversidade local, recebendo a visita de 34 espécies de polinizadores (Coleoptera, Diptera, Hymenoptera e Lepidoptera) na cidade do presente estudo (CRUZ e MARTINS, 2014). *Tridax procumbens* também foi registrada como uma espécie de floração longa no Nordeste (Paraíba) do Brasil, sendo identificada com um recurso floral importante para abelhas da região (SILVA *et al.*, 2008). Desse modo, é possível observar que essas espécies e, possivelmente, outras espécies de ruderais, podem ter um desempenho (crescimento e reprodução) em telhados verdes diferente do registrado na natureza, possivelmente pelas limitações referentes a profundidade do substrato e diferença na disponibilidade de água (STOVIN *et al.*, 2012). Porém, elas ainda mantêm resposta fisiológica por períodos longos e, considerando um consórcio de espécies (com repostas diferenciadas ao longo do ano), um telhado verde de ruderais pode ser uma excelente estratégia para se ter ofertas de recursos florais em ambientes urbanos.

Em condições mais favoráveis (presença da chuva), ambas as espécies apresentaram rápido crescimento vegetativo, sendo que *T. procumbens* responde mais rápido ao estímulo do que *R. grandiflora* no repovoamento da cobertura vegetal, como pode ser observado durante as chuvas de verão. Tal característica permite a rápida instalação de telhados verdes e o preenchimento de falhas na cobertura vegetal (DUNNETT, 2015). Além disso, o bom preenchimento da vegetação evita a erosão do substrato pela chuva e vento (NOYA *et al.*, 2017), além de potencializar os serviços ecossistêmicos promovidos pelos telhados verdes, como eficiência térmica das edificações, redução do escoamento superficial, fornecimento de recursos para biodiversidade e benefícios psicossociais para os habitantes (BOLLMAN *et al.*, 2021; BERNDTSSON, 2010; VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Ocorreu naturalmente a composição de um banco de sementes no substrato, de modo que ambas as espécies permaneceram na cobertura vegetal durante todo o ano de experimento. Mesmo após os eventos de mortalidade ocorrido nos meses secos, a germinação espontânea de sementes permitiu a

recomposição da cobertura vegetal, demonstrando que populações de espécies ruderais tem a capacidade de se manter em telhados verdes extensivos em clima tropical, demandando pouco cuidado adicional.

A utilização do solo superficial (*topsoil*), referente aos primeiros 15 cm, na composição de substrato, como usado no sistema do presente estudo, se mostrou uma boa estratégia para instalação de telhados biodiversos, pois preserva uma diversidade de propágulos, banco de sementes e organismos locais (BRENNEISEN, 2006). Em Santa Catarina, sul do Brasil, foi identificada a germinação espontânea de plantas da família Poaceae em telhados vegetados com monocultivo da herbácea nativa *Arachis repens*, de modo que as plantas espontâneas preencheram falhas na cobertura vegetal (NOYA *et al.* 2017). Em Porto Rico, país com clima tropical semelhante a parte do Brasil, foram identificadas espécies ruderais bem adaptadas a telhado verde, com destaque para *Bidens alba* e *Momordica charantia* (PENKOVA *et al.*, 2020), espécies de ocorrência natural também no Brasil (MONDIN *et al.*, 2015; GOMES-KLEIN e LIMA, 2015). Nesse sentido, as espécies espontâneas identificadas no presente trabalho, como *Commelina benghalensis* L., *Trianthema portulacastrum* L., *Portulaca oleraceae* L., *Ipomoea hederifolia* L., *Euphorbia hirta* L., *Euphorbia hyssopifolia* L., *Phyllanthus amarus* Schumach., *Pilea microphylla* L. Liebm. e *Tribulus terrestris* L., apresentam potencial para a utilização em telhados verdes.

Para desenvolver comunidades vegetais resilientes na criação de telhados verdes contemporâneos, a colonização espontânea deve ser considerada um fator de design (CATALANO *et al.*, 2018). Autores relatam que a estética de telhados verdes ruderais pode não ser preferida entre algumas pessoas (DUNNETT, 2015), devido às características associadas ao curto ciclo de vida das espécies, a exemplo do amarelamento das folhas e a mortalidade das plantas como ocorrido nesse estudo. Contudo, a seleção de espécies e o manejo seletivo podem ser estratégias para maximizar os benefícios, garantindo florações abundantes e reduzindo aspectos menos desejáveis. Além disso, o baixo custo para introdução das plantas ruderais desejáveis é um ponto positivo, visto que a semeadura em épocas chuvosas é o bastante para a germinação e estabelecimento das plantas. Nesse sentido, a utilização de consórcios estratégicos de espécies ruderais em telhados verdes extensivos, pode reduzir

as intervenções de manutenção, sendo uma boa opção para locais de difícil acesso ou quando o proprietário não tenha tempo ou condições de realizar frequentes intervenções.

Uma estratégia para aumentar a resiliência dos telhados verdes é aumentar da diversidade de plantas com diferentes características e tipos funcionais na cobertura vegetal (NAGASE e DUNNETT, 2010). *Richardia grandiflora* apresentou aspecto rasteiro e enraizamento dos ramos laterais que tocavam o substrato, enquanto a *T. procumbes* apresentou aspecto ereto. É possível que a combinação de ambas as espécies, assim como com as outras plantas espontâneas identificadas, melhorem a performance do telhado verde.

CONCLUSÃO

As coberturas vegetais em telhados verdes não são estáticas, de modo que existe uma dinâmica inerente que envolve as fenofases das plantas, sucessão ecológica, competição entre espécies e respostas a fatores climáticos. As plantas ruderais apresentam características que impulsionam ainda mais essa dinâmica, como rápido crescimento vegetativo, ciclos reprodutivos curtos, grande produção de sementes e criação de banco de sementes. Além disso, o rápido crescimento favorece a sustentação do solo, reduz erosão e pode contribuir para a drenagem hidrológica. Ainda pode-se destacar a abundante floração, que traz benefícios para a biodiversidade de polinizadores. Ambas as espécies, *Richardia grandiflora* e *Tridax procumbes*, apresentaram tais características em telhados verdes, sendo uma boa opção para serem consideradas em telhados verdes extensivos em regiões costeiras de clima tropical.

Os dados sugerem que a combinação de plantas ruderais com diferentes características fisiológicas e com capacidades diferentes em responder às variáveis climáticas pode ser uma excelente estratégia para a composição de telhados verdes, exigindo baixa intervenção e manutenção, mas ainda garantindo a manutenção de serviços ecossistêmicos urbanos e as vantagens esperadas que um telhado verde pode trazer à construção.

Portanto, a experimentação com as espécies levantadas nesse estudo e a investigação de melhores formas de manejo são direções a serem tomadas a

fim de otimizar os benefícios gerados pelos telhados verdes com espécies ruderais em regiões costeiras de clima tropical.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, K.P.; FARIA, L.B.; GROppo, M.; CASTRO, M.M.N.; SILVA, C. I. Spatiotemporal distribution of floral resources in a Brazilian city: Implications for the maintenance of pollinators, especially bees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 4, 689-696, 2014. doi: 10.1016/j.ufug.2014.08.002

AMPIM, P.S., CABRERA, R.H.J; JABER, F.D. Green roof growing media: Types, ingredients, composition and properties. *Journal of Environmental Horticulture*. 28, 244-252, 2018. doi: 10.24266/0738-2898-28.4.244.

ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA IDEME – Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba - 2008.

AZEÑAS, V.; JANNER, I.; MEDRANO, H.; GULÍAS, J. Performance evaluation of five Mediterranean species to optimize ecosystem services of green roofs under water-limited conditions. *Journal of Environmental Management*, 212, 236–247, 2018. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.021

BENCKE, C.S.C.; MORELLATO, L.P.C. Comparison of two methods of plant phenology estimation, their interpretation and representation. *Brazilian Journal of Botany*, 25(3), 269-275, 2002. doi: 10.1590/S0100-84042002000300003

BERNDTSSON, J.C.Z. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecological Engineering*, 36, 351–360, 2010.

BOLLMAN, M.A.; DESANTIS, G.E.; WASCHMANN, R.S.; MAYER, P.M. Effects of shading and composition on green roof media temperature and moisture. *Journal of Environmental Management*, 281, 111882, 2021. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111882

BRENNEISEN, S. Space for Urban Wildlife Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, 4, 27-36, 2006.

BROWN, K.S.; FREITAS, A.V.L. Butterfly communities of urban forest fragments in Campinas, São Paulo, Brazil: structure, instability, environmental correlates, and conservation. *Journal of insect conservation*, 6, 217–231, 2002

CARTER, T.; FOWLER, L. Establishing Green Roof Infrastructure Through Environmental Policy Instruments. *Environmental Management*, 42, 151-164, 2008. doi: 10.1007/s00267-008-9095-5

CATALANO, C.; LAUDICINA, V. A.; BADALUCCO, L.; GUARINO, R. Some European green roof norms and guidelines through the lens of biodiversity: Do ecoregions and plant traits also matter? *Ecological Engineering*, 115, 15–26, 2018. doi:10.1016/j.ecoleng.2018.01.006

- CIPOLLA, S.S.; MAGLIONICO, M.; STOJKOV, I. A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering*, 95, 876-887, 2016. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.07.009
- COLLA, S.R.; WILLIS, E.; PACKER, L. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae)? *Cities and the Environment*. 2(1), 12-23, 2009.
- COOK-PATTON, S.C.; BAUERLE, T.L. Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. *Journal of Environmental Management*, 106, 85–92, 2012. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.04.003
- CRUZ, R.M.; MARTINS, CF. Pollinators of *Richardia grandiflora* (Rubiaceae): an Important RuderalSpecies for Bees. *Neotropical Entomology*, 44(1), 21–29, 2014. doi:10.1007/s13744-014-0252-7
- DUNNETT, Nigel. Ruderal green roofs. In: *Green roof ecosystems*. Springer, Cham, 233-255, 2015
- FLL. 2018. Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn, Germany.
- Gomes-Klein, V.L.; Lima, L.F.P.; Gomes-Costa, G.A.; Medeiros, E.S. Cucurbitaceae. In *Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015
- Grime, J.P.; Pierce, S. *The Evolutionary Strategies That Shape Ecosystems*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2012.
- JOÃO PESSOA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de João Pessoa. João Pessoa: FEA Gráfica e Editora. 2012
- LUGO, A.E.; RULLAN, J. The conservation message of the rehabilitated facilities of the International Institute of Tropical Forestry. Res. Note IITF-RN-2. U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, PR, Nov 2015, 49p.
- MONDIN, C.A.; NAKAJIMA, J.N.; BRINGEL JR., J.B.A. Bidens in *Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015.
- MONTEIRO, C.M.; CALHEIROS, C.S.C.; PALHA, P.; CASTRO, P.M.L. Growing substrates for aromatic plant species in green roofs and water runo quality: Pilot experiments in a Mediterranean climate. *Water Sci. Technol*, 76, 1081–1089, 2017.
- NAGASE, A.; DUNNETT, N. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and urban planning*, 97, 4, 318-327, 2010.

NEKTARIOS, P. A.; AMOUNTZIAS, I.; KOKKINO, I.; NTOULAS, N. Green Roof Substrate Type and Depth Affect the Growth of the Native Species *Dianthus fruticosus* Under Reduced Irrigation Regimens. *HortScience horts* 46, 8, 1208-1216, 2011. doi:10.21273/HORTSCI.46.8.1208

NOYA, M.G.; CUQUEL, F.L.; SCHAFER, G.; ARMINDO, R.A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 102, 662-669, 2017. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.02.042.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10), 823-833, 2007. doi: 10.1641/B571005

GRULLÓN – PENKOVA, I. F.; ZIMMERMAN, J. K.; GONZÁLEZ, G. Green roofs in the tropics: design considerations and vegetation dynamics. *Heliyon*, 6(8), e04712, 2020. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04712

RSTUDIO TEAM. 2020. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>

SANTOS, E. Distribuição de recursos florais de plantas melitófilas em uma área em restauração florestal em Holambra, São Paulo, Brasil. Dissertação. Programas de Pós-Graduação Agricultura e Ambiente. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. 2019. https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/12705/SANTOS_Elisangela_2019.pdf?sequence=6&isAllowed=y

SILVA, R. A. da; EVANGELISTA-RODRIGUES, A.; AQUINO, I. de S.; FELIX, L. P.; MATA, M. F.; PERONICO, A. S. CARACTERIZAÇÃO DA FLORA APÍCOLA DO SEMI-ÁRIDO DA PARAÍBA *Archivos de Zootecnia*, 57, 220, 427-438, 2008. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49515034004.pdf>

SIMMONS, M. T. Climates and Microclimates: Challenges for Extensive Green Roof Design in Hot Climates. In: *Green Roof Ecosystems*, Springer, Cham. 63–80, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-14983-7_3

STOVIN, V.; VESUVIANO, G.; KASMIN, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414-415, 148–161, 2012. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.022

TONIETTO, R.; FANT, J.; ASCHER, J.; ELLIS, K.; LARKIN, D. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning*, 103(1), 102–108, 2011. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.07.004

TRAN, S.; LUNDHOLM, J. T.; STANIEC, M.; ROBINSON, C. E.; SMART, C. C.; VOOGT, J. A.; O'CARROLL, D. M. Plant survival and growth on extensive green roofs: A distributed experiment in three climate regions. *Ecological Engineering*, 127, 494-503, 2019. doi: 10.1016/j.ecoleng.2018.09.027

USEPA. Green Roofs for Stormwater Runoff Control. 2009.

VAN MECHELEN, C.; VAN MEERBEEK, K.; DUTOIT, T.; & HERMY, M. Functional diversity as a framework for novel ecosystem design: The example of extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*, 136, 165–173, 2015. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.11.022

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, F. D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. *Water Research*, 63, 94–101, 2014. doi:10.1016/j.watres.2014.06.012

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740-752, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.119

WALKER E.A.; LUNDHOLM J.T. Designed habitat heterogeneity on green roofs increases seedling survival but not plant species diversity. *J Appl Ecol*. 55, 694-704, 2017. doi: 10.1111/1365-2664.12970

WILLIAMS, K. J. H.; LEE, K. E., SARGENT, L.; JOHNSON, K. A.; RAYNER, J.; FARRELL, C.; MILLER, R. E.; WILLIAMS, N. S. G. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126399, 2019. doi:10.1016/j.ufug.2019.126399

YANG, JUN; YU, QIAN; GONG, PENG. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric environment*, 42, 31, 7266-7273, 2008.

CAPÍTULO 2

Telhados verdes extensivos e a influência na manutenção da biodiversidade em áreas com diferentes coberturas de solo em clima tropical úmido no Nordeste brasileiro²

INTRODUÇÃO

O processo desordenado de urbanização recorrente em países do Sul Global causa danos socioambientais. Um impacto comum decorrente do crescimento urbano é a fragmentação de áreas verdes, um processo em que um ecossistema natural é modificado para dar espaço a uma matriz urbana heterogênea, que pode apresentar fragmentos de mata de variados tamanhos e qualidade (GARDEN *et al.*, 2010). A diminuição das áreas verdes e o aumento das áreas impermeáveis nas cidades afeta os serviços ecossistêmicos, gerando consequências como o aumento da ilha de calor, alterações no ciclo hidrológico, poluição ambiental, perda da biodiversidade urbana e danos à qualidade de vida e saúde humana (JARRET *et al.*, 2007; CARTER e RASMUSSEN, 2005).

A fragmentação e a perda de habitat causam impactos na biodiversidade, de modo a haver declínio na população de polinizadores, agentes essenciais para a reprodução das plantas. Além disso, a intensificação do uso do solo, a disseminação de espécies exóticas, o uso de agroquímicos, as mudanças climáticas e as interações entre esses fatores também são causas para a diminuição da biodiversidade (WU, 2019; GIANNINI *et al.*, 2015). No entanto, estudos apontam que áreas urbanas podem atuar como refúgios para abelhas, especialmente se a época de florações e heterogeneidade de habitats forem mantidas e aprimoradas nas cidades, através do planejamento urbano sustentável (TOMMASI *et al.*, 2004).

Para que o planejamento das cidades contribua para a manutenção de polinizadores no meio urbano é necessário investigar as interações entre a paisagem e a comunidade de polinizadores (DIXON, 2009). A heterogeneidade da paisagem urbana, em especial a composição e distribuição das áreas verdes,

² Artigo a ser submetido a revista Urban Forestry & Urban Greening.

exerce um papel fundamental de apoio à biodiversidade urbana (MCKINNEY, 2008). A fim de mitigar as consequências da fragmentação de habitats, as cidades devem ser planejadas com infraestruturas verdes que permitam a conexões entre seus componentes (BROWN e FREITAS, 2002), sejam na forma de corredores ou ilhas ecológicas, ou na forma de ecossistemas construídos que conciliem o crescimento urbano com estratégias de esverdeamento urbano.

Em centros urbanos, cerca de 40-50% da área impermeável das cidades são telhados (DUNNETT e KINGSBURY, 2004). Nesse cenário, os telhados verdes são apontados como estratégias para favorecer a conservação e ajudar na manutenção da biodiversidade urbana (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Essas estruturas apresentam substrato e vegetação e podem complementar ou substituir os telhados convencionais (CIPOLLA *et al.*, 2016), além de apresentarem benefícios na eficiência térmica, desempenho hidrológico e melhorias estéticas das edificações (BOLLMAN *et al.*, 2021; BERNDTSSON, 2010; VIJAYARAGHAVAN, 2016)

A maior parte dos estudos sobre telhados verdes são conduzidos na América do Norte e Europa, onde apresentam clima temperado (BLANK *et al.*, 2017) e utilizam como cobertura vegetal, principalmente, espécies de suculentas do gênero *Sedum* (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Contudo, herbáceas ruderais apresentam abundantes florações e maior diversidade de espécies, assim, promovendo maior quantidade e variedade de recursos de forrageio para uma ampla guilda de visitantes florais (TONIETTO *et al.*, 2011).

No Brasil, poucos estudos abordam a utilização de espécies nativas em telhados verdes, algumas plantas investigadas foram a herbácea *Arachis repens* (NOYA *et al.*, 2017), a bromélia *Neoregelia compacta* (SILVA, 2016), suculenta *Portulaca grandiflora* (SAVI e TAVARES, 2018) e a cactácea *Melocactus zehntneri* (SANTOS *et al.*, 2019). Contudo, a literatura apresenta uma lacuna em relação ao uso de plantas ruderais e ao papel dessas estruturas na manutenção de biodiversidade.

Os telhados verdes são apontados como potenciais meios para a manutenção da biodiversidade urbana, onde foram documentadas a presença de diversas espécies pássaros e insetos, incluindo abelhas, moscas, formigas, cigarras e aranhas (BAUMANN, 2006; COLLA *et al.*, 2009; OBERNDORFER *et al.*, 2007). Quanto aos visitantes florais, estudos apontam que a abundância e

diversidade de abelhas são menores do que o observado em áreas naturais, como pradarias e parques urbanos (TONIETTO *et al.*, 2011; WALKER, 2016). Contudo, resultados pontam que a conectividade entre telhados verdes e área verdes tendem a aumentar a diversidade funcional de abelhas (BRAAKER *et al.*, 2014). Ademais, para a construção de telhados que otimizem o suporte a biodiversidade é indicado a construção de micro-habitats através do aumento da heterogeneidade da estrutura, a de apresentar cobertura vegetal composta por amplo consórcio de espécies e utilizar substratos com diferentes composições, profundidade e regimes de drenagem (BRENNEISEN, 2006).

Nesse sentido, o objetivo do presente artigo foi avaliar a influência da proximidade de remanescentes florestais sob biodiversidade de visitantes florais e o desempenho (crescimento e floração) de espécies ruderais, *Richardia grandiflora* e *Tridax procumbens*, em telhados verdes extensivos. Para isso, o estudo foi desenvolvido em duas diferentes paisagens, uma com ampla e uma com baixa distribuição de cobertura vegetal em um raio de 2 km. Nossa hipótese é que o desempenho (crescimento e floração) de plantas ruderais em telhados verdes, assim como a guilda de polinizadores, será maior em locais com maior quantidade de fragmentos florestais na área circunvizinha aos telhados.

MATERIAL E METODOS

Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido em 4 diferentes áreas do perímetro urbano de João Pessoa, Paraíba, Nordeste do Brasil. A cidade de João Pessoa possui 723 mil habitantes (IBGE, 2011) sendo o ponto mais oriental das Américas (34°47'30"/ 7°09'28"). Limita-se, ao Sul, com o município do Conde, ao Oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, ao Norte com o município de Cabedelo e ao Leste com o Oceano Atlântico. A classificação climática da região segundo Koppen é As' (quente e úmido, com chuvas de outono e inverno), com temperatura média entre 25 a 26 °C, com máxima em fevereiro e mínima em julho, e umidade relativa do ar de 80%, com máxima entre março e julho e mínima entre outubro e dezembro. A precipitação média anual varia entre 2000 a 2400 mm, distribuída no decorrer do ano em três estações: pré-estação

chuvosa nos meses fevereiro, março e abril; estação chuvosa nos meses maio, junho, julho e agosto; e estação seca nos meses outubro, novembro, dezembro e janeiro (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2008; SILVA, 2007).

A vegetação da cidade é inserida no bioma Mata Atlântica, com destaque para ecossistemas de Mata de Tabuleiro, Restinga e Manguezal (JOÃO PESSOA, 2012). Dois grandes fragmentos de mata urbanos se destacam: o Jardim Botânico Benjamim Maranhão (510 ha) e o Parque Arruda Câmara (27 ha), que contribuem para a manutenção climática (ANDRADE e JERONIMO, 2015).

A porcentagem de arborização dos bairros de João Pessoa foi consultada na literatura a fim de identificar bairros com quantidades similares de área vegetada (com fragmentos florestais) (ANDRADE e JERONIMO, 2015; SOUZA *et al.*, 2016). Posteriormente, foi realizada uma busca por residências que voluntariamente recebessem a instalação dos protótipos para o experimento. Diante das possibilidades levantadas, foram investigados os locais que apresentassem quantidades semelhantes de área vegetada ao redor dos pontos de instalação dos protótipos. A quantidade de área coberta por fragmentos florestais no raio de 2 km ao redor dos protótipos foi tida como a forma de classificação entre os tipos paisagens encontradas. Assim, foram classificados como bairros verdes quando apresentaram mais de 50% da área ao redor coberta por fragmentos florestais, e bairros cinzas, com menos de 50% coberto por fragmentos florestais. Os protótipos foram instalados nos bairros verdes, Jacarapé (-7.1968, -34.8208) e Castelo Branco (-7.1379, -34.8455), e nos bairros cinzas, Funcionários (-7.1793, -34.8916) e Bancários (-7.1587, -34.8337). A distância dos protótipos para o fragmento mais próximo é de 25 metros para os bairros verdes e 500 metros para os bairros cinzas (Figura 1).

A classificação da quantidade de fragmentos florestais no raio de 2 km ao redor dos pontos de instalação dos protótipos foi realizado pelo método de classificação supervisionada de imagens de satélite utilizando o software QGis (Figura 1). O raio de influência escolhido, 2 km, é condizente com a abrangência de voo de abelhas nativas (CORREIA *et al.*, 2017), principal grupo de polinizadores.

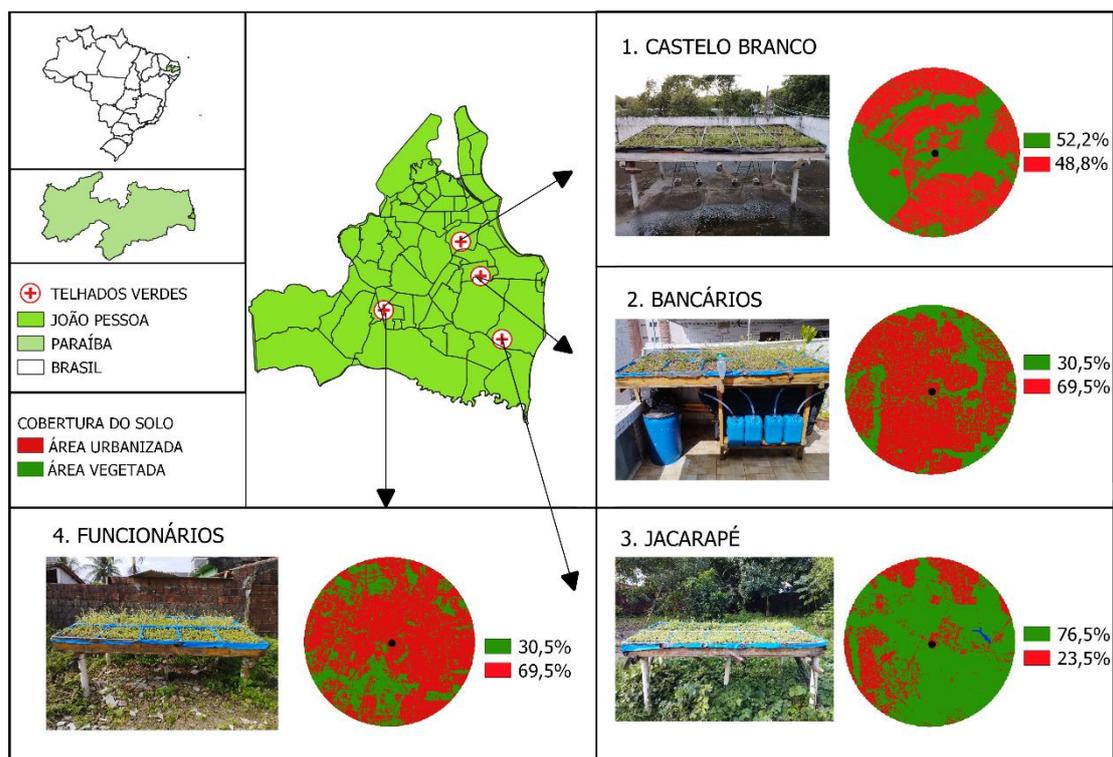


Figura 1. Protótipos experimentais de telhados verdes instalados nos bairros verdes: 1: Castelo Branco (UFPB) e 3: Jacarapé, e cinzas: 2: Bancários e 4: Funcionários, com representação do uso do solo num raio de 2 km.

Sistema e espécies de estudo

Os protótipos de telhado verde do tipo extensivo consistiram em 10 caixotes de 0,7 m x 0,58 m x 0,2 cm construídos com madeira impermeabilizada de Pinus sp. revestidos internamente com manta de polietileno, arranjados em duas (2) fileiras de cinco (5) caixotes, totalizando dimensões de 3 m x 1,6 m, e área de 4.8 m². A camada drenante foi composta por argila expandida com altura de 3 cm e a camada filtrante pela geotêxtil não-tecido BIDIM. O substrato foi preparado a partir da mistura homogênea da camada superficial de solo local, fibra do coco, areia grossa, vermiculita e composto orgânico tendo como base a literatura sobre composição de substratos (NOYA *et al.*, 2017; VIJAYARAGHAVAN e RAJA, 2014; NEKTARIOS *et al.*, 2011; AMPIM *et al.*, 2010) e levando em consideração a disponibilidade local de materiais. A altura da camada de substrato foi 15 cm, de modo a restar 2cm abaixo da borda superior dos caixotes. As dimensões escolhidas são eficientes, baseada em estudos

anteriores abordando experimentação em protótipos, e representam adequadamente as construções em imóveis na realidade (WALKER e LUNDHOLM, 2017; MONTEIRO *et al.*, 2017; CIPOLLA *et al.*, 2016; AZENAS *et al.*, 2018; TRAN *et al.*, 2019).

Foram utilizadas duas espécies de ruderais, *Richardia grandiflora* (Cham. & Schltl.) Steud. (Rubiaceae) e *Tridax procumbens* L. (Asteraceae) (Figura 2C e 2B). A coleta de sementes e preparo das mudas foi realizada 2 meses antes da finalização da montagem das estruturas. Ambas as espécies florescem intensamente durante o período chuvoso, tendo até 6 meses de crescimento e floração ao longo do ano (para detalhes da fenologia dessas espécies em telhado verde, ver CAPÍTULO 1).

Nos bairros Castelo Branco (Figura 1.1) e Bancários (Figura 1.2), os protótipos foram instalados no terceiro andar de um prédio, enquanto que em Jacarapé (Figura 1.3) e Funcionários (Figura 1.4) foram instalados em área aberta a 1,5m do nível do solo. As estruturas seguiram a direção leste-oeste em sua extensão com incidência solar direta. Em cada imóvel, foram montados 10 caixotes, referentes a 5 réplicas por espécie de planta utilizada, de modo a totalizar 40 caixotes (Figura 2A).



Figura 2. A) Protótipo com a vegetação estabelecida, apresentando cinco caixotes com B) *Tridax procumbens* (esquerda) e cinco caixotes com C) *Richardia grandiflora* (direita).

A montagem ocorreu de fevereiro a maio de 2021, quando foi realizado o plantio de 12 mudas de cada espécie por caixote.

Coleta de dados

Para avaliar o desenvolvimento das plantas, foi realizado o monitoramento quinzenal do desempenho da cobertura vegetal e da fenologia reprodutiva, de junho de 2021 a junho de 2022.

A taxa de ocupação da cobertura vegetal, referente a porcentagem da área do caixote ocupado por plantas em relação à área total, foi monitorada através do uso de fotografias retiradas de uma posição perpendicular da vista superior a 1m, seguida de análise em computador utilizando o software Image J (NOYA *et al.*, 2017). As fotografias foram realizadas utilizando a câmera do celular Xiaomi Redmi Note 11 com 50 megapixels (Figura 3).

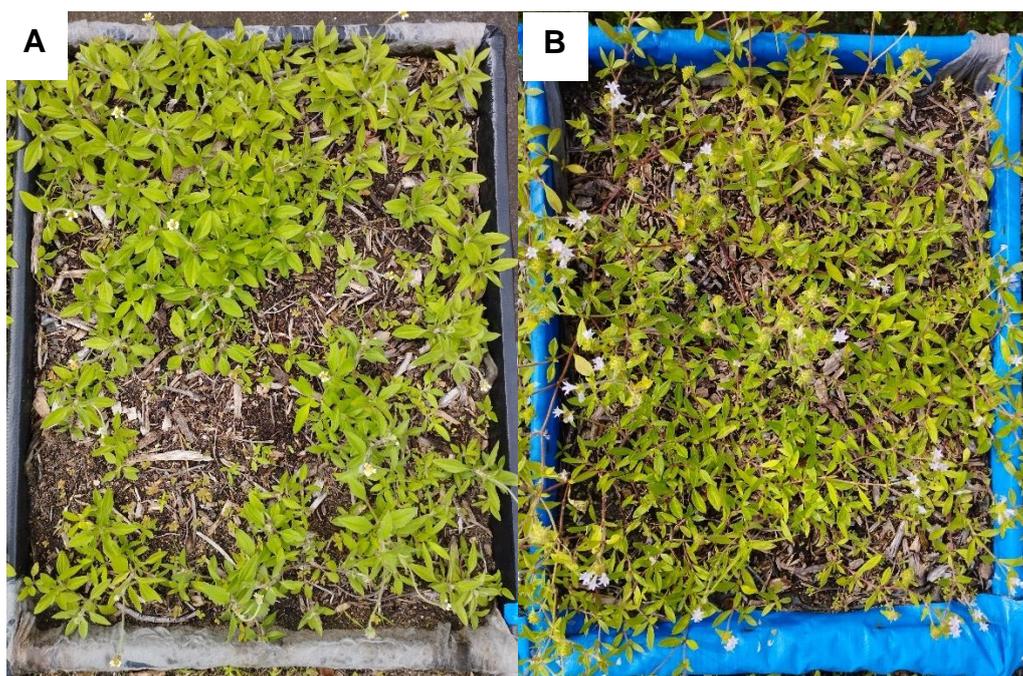


Figura 3. Fotografias superiores de caixotes para avaliar a porcentagem da área ocupada por cobertura vegetal, A) *Tridax procumbens* e B) *Richardia grandiflora*

A floração foi avaliada pelo método semiquantitativo, com a aplicação de categorias de quantificação para estimar a intensidade do evento fenológico em cada caixote, através de cinco categorias de quantificação (0 a 4), com intervalo

de 25% entre elas, conforme o Índice de Intensidade de Fournier (BENCKE e MORELLATO, 2002).

O monitoramento da biodiversidade de polinizadores ocorreu de duas formas, através de armadilhas de pratos (*pan traps*) (Figura 4) e de sessões de observações naturalistas a partir do método de indivíduo-focal.



Figura 4. A) Seis armadilhas de prato (*pan traps*) com cores vermelhas, brancas e amarelas instaladas ao redor do protótipo de telhado verde, B) Armadilha com solução de água e detergente para captura de visitantes florais

Nos meses de junho e julho, o monitoramento ocorreu através de armadilhas de pratos, que consistiram em pratos com as cores amarela, branca e vermelha, atrativas para espécies de visitantes florais. Em cada localidade foram dispostas 6 armadilhas ao redor dos protótipos, 3 para cada tipo de cobertura vegetal, *T. procumbens* ou *R. grandiflora*. Durante 10 dias as armadilhas foram instaladas pela manhã, pela adição de solução com detergente nos pratos, e retiradas 48h depois. As observações foram feitas em períodos com dias de sol.

De junho a outubro de 2021, o monitoramento ocorreu quinzenalmente através da realização de sessões de observações naturalistas a partir do método de indivíduo-focal (ALTMAN, 1974) realizadas no período das 7h às 12h. Para contagem das visitas e registro das espécies visitantes, cada caixote foi observado durante 5 minutos de cada hora, totalizando 50 minutos por hora e 5 horas por dia de observação.

Para a comunidade de visitantes florais, foram feitas 120 horas de observação pela mesma pessoa, dividindo-se 60 horas para cada tipo de paisagem, com maior densidade vegetal no entorno (verde) e menor densidade vegetal (cinza). Todas as observações foram feitas pela mesma pessoa. Os indivíduos coletados foram identificados, a nível de gênero, utilizando a chave taxonômica de gênero de abelhas por Silveira *et al.* (2002), em seguida fixados e conduzidos para identificação na Coleção Entomológica do Departamento de Sistemática e Ecologia, na Universidade Federal da Paraíba.

Análise de dados

Foi utilizado o método de Modelos Lineares Mistos para avaliar diferenças no crescimento, na reprodução e na frequência dos visitantes florais entre os telhados verdes instalados em bairros com duas configurações (chamadas no modelo de 'tipos'), verde e cinza, e com duas espécies de cobertura vegetal, *Tridax procumbens* ou *Rychardia grandiflora*. Nessa análise, foram consideradas como variáveis dependentes a porcentagem de cobertura vegetal, o índice de floração e a abundância de visitantes florais. Para tal, foi usada a média das observações dos caixotes de cada espécie em cada local. Os fatores fixos foram o tipo de bairro (verde ou cinza) e a espécie (*T. procumbens* ou *R. grandiflora*), e o fator aleatório foram os bairros. Assim, foi aplicado um modelo linear misto que se mostrou mais ajustado aos dados para cada variável dependente: cobertura vegetal, floração e abundância de polinizadores (Tabela 1). Todos os dados foram transformados em escala logarítmica para atender o pressuposto de normalidade. Esse método foi escolhido devido aos caixotes componentes dos protótipos de telhado verdes não serem independentes entre si.

Além disso, foi aplicado a análise Kruskal-Wallis para avaliar diferenças entre as riquezas de espécies de polinizadores (dados não paramétricos) entre bairros, com o teste de Dunn aplicado a posteriori, quando houve significância no Kruskal-Wallis. Todos os testes foram realizados no Programa RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020).

Tabela 1. Modelos aninhados com melhor aderência aos dados para cada variável testada.

| Variáveis | Modelo | X ² | p |
|----------------------------------|---|----------------|---------|
| Porcentagem de cobertura vegetal | <i>cobertura ~ tipo * especie + (1 bairro)</i> | 17.579 | < 0.001 |
| Índice de floração | <i>floracao ~ tipo * especie + (1 bairro)</i> | 10.975 | 0.002 |
| Abundância de visitantes florais | <i>abundancia ~ tipo * especie + (1 bairro)</i> | 8.605 | 0.005 |

RESULTADOS

Fenologia floral e crescimento vegetativo

Ao analisar o crescimento vegetativo, não houve diferenças significativas entre espécies ou tipos de bairro (verde e cinza). No entanto, houve diferença significativa na interação entre tipo de bairro e espécie (Tabela 2). Foi observada diferença no padrão de crescimento de *Tridax procumbes* e *Richardia grandiflora* nos bairros cinzas ($t = 4.0920$; $p = 0.0002$; g.l = 34).

De modo geral, durante a maior parte do ano *T. procumbes* apresentou crescimento levemente maior do que *R. grandiflora*, expresso pela maior porcentagem de área ocupada pela cobertura vegetal (crescimento *Tridax*: 22.4 ± 18.6 e crescimento *Richardia*: 22.0 ± 16.3). Por outro lado, durante os meses mais secos (outubro e novembro), a cobertura vegetal de ambas as espécies decresceu drasticamente e *R. grandiflora* apresentou maior resistência ao déficit hídrico.

Em relação à floração, houve diferenças significativas entre espécies ($t = 5.1887$; $p < 0.001$; g.l = 34), contudo não houve diferença significativa entre os tipos de bairros (verde e cinza). A interação entre tipos de bairros e espécies foi significativa (Tabela 2). Os protótipos com *R. grandiflora* apresentaram maior intensidade de floração nos bairros cinzas do que os protótipos com *T. procumbes* nos bairros verdes ($t = 3.8871$; $p = 0.0348$; g.l = 2.8) e cinzas ($t = 6.0115$; $p < 0.001$; g.l = 34).

No geral, a espécie que apresentou maior intensidade de floração foi *R. grandiflora* com médias de 0.700 ± 0.871 nos bairros verde e 1.450 ± 1.302 nos bairros cinzas, enquanto para *T. procumbes* foram de 0.713 ± 0.953 nos bairros verdes e 0.700 ± 0.690 nos bairros cinzas. Por outro lado, durante os meses secos, *T. procumbes* apresentou maior intensidade de floração.

Tabela 2. Modelos lineares mistos para a cobertura vegetal, o índice de floração e a abundância de visitantes florais (variáveis dependentes) em função do tipo de cobertura vegetal de cada bairro – bairros verdes e bairros cinzas (fator fixo) na cidade de João Pessoa, PB, Nordeste do Brasil.

| | Porcentagem de cobertura vegetal | | Índice de floração | | Abundância de visitantes florais | |
|--------------|----------------------------------|---------|--------------------|---------|----------------------------------|---------|
| | F | p | F | p | F | p |
| Espécie | 2.5412 | 0.1202 | 26.9230 | < 0.001 | 48.5260 | < 0.001 |
| Tipo | 0.3201 | 0.6285 | 4.1183 | 0.1796 | 0.1418 | 0.7427 |
| Espécie:Tipo | 17.5797 | < 0.001 | 10.9749 | 0.0022 | 8.6053 | 0.0060 |

Guilda de visitantes florais: riqueza e abundância

No início do monitoramento foi percebido que os animais coletados pelas armadilhas não correspondiam aos visitantes florais observados nas coletas ativas, assim as armadilhas foram ineficazes para esse objetivo. Contudo, foi possível fazer um registro da diversidade geral do local diretamente associada ao telhado verde. Dentre as cores utilizadas, as armadilhas amarelas foram mais visitadas, apresentando maior abundância de espécies de Diptera (Tabela 3).

Tabela 3. Abundância das ordens registradas nas armadilhas por bairros

| Ordens | Cinzas | | Verdes | |
|-------------|-----------|--------------|----------------|----------|
| | Bancários | Funcionários | Castelo Branco | Jacarapé |
| Aranea | 0 | 4 | 0 | 2 |
| Coleoptera | 2 | 3 | 0 | 1 |
| Diptera | 203 | 585 | 53 | 146 |
| Hemiptera | 7 | 10 | 1 | 4 |
| Hymenoptera | 11 | 11 | 10 | 8 |

Em relação as observações naturalistas de visitantes florais, foram contabilizadas 3621 visitas de animais aos protótipos nos quatro bairros, distribuídas em 604 em Castelo Branco, 750 em Jacarapé, 1995 em Bancários, e 272 em Funcionários (Tabela 4). A maior quantidade de visitas ocorreu no período de observação entre 8h às 10h.

Avaliando as médias de visitantes florais por espécies, os protótipos com *R. grandiflora* foram mais visitados em todos os bairros, apresentando médias de 49,66 visitas em *R. grandiflora* e 18,22 em *T. procumbens* para o bairro Castelo Branco; 43,55 e 25,66 para Jacarapé; 225,11 e 9,66 para Bancários; e 22,11 e 8,55 para Funcionários.

Os visitantes mais presentes variaram entre protótipos (Figura 5). Nos bairros cinzas, *Plebeia* sp1. foi mais abundante no Bancários e *Augochlora* sp1. no Funcionários. Nos bairros verdes, Castelo Branco e Jacarapé, *Apis mellifera* e *Tetragonisca angustula* foram mais abundantes (Tabela 4).

Em relação aos outros grupos de polinizadores considerados raros, uma espécie de *Syrphidae* (Diptera) ocorreu nos Bancários (cinza), enquanto três espécies de Lepidoptera ocorreram em Jacarapé (verde).

Tabela 4. Frequência de visitas das espécies polinizadoras por protótipo

| Ordens | Espécies | Cinzas | | Verdes | |
|-------------|-------------------------------|-----------|--------------|----------------|----------|
| | | Bancários | Funcionários | Castelo Branco | Jacarapé |
| Hymenoptera | <i>Apis mellifera</i> | 5 | 0 | 167 | 471 |
| | <i>Augochlora</i> sp1. | 21 | 243 | 0 | 30 |
| | <i>Augochlora</i> sp2. | 0 | 0 | 0 | 8 |
| | <i>Plebeia</i> sp1 | 1895 | 22 | 116 | 47 |
| | <i>Plebeia</i> sp2 | 66 | 7 | 44 | 86 |
| | <i>Polistes</i> sp. | 5 | 0 | 51 | 1 |
| | <i>Tetragonisca angustula</i> | 0 | 0 | 226 | 40 |
| Lepidoptera | <i>Lepidoptera</i> sp1 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | <i>Lepidoptera</i> sp2 | 0 | 0 | 0 | 34 |
| | <i>Lepidoptera</i> sp3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Diptera | <i>Syrphidae</i> sp1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Total | Indivíduos | 1995 | 272 | 604 | 750 |
| | Espécies | 6 | 3 | 5 | 10 |

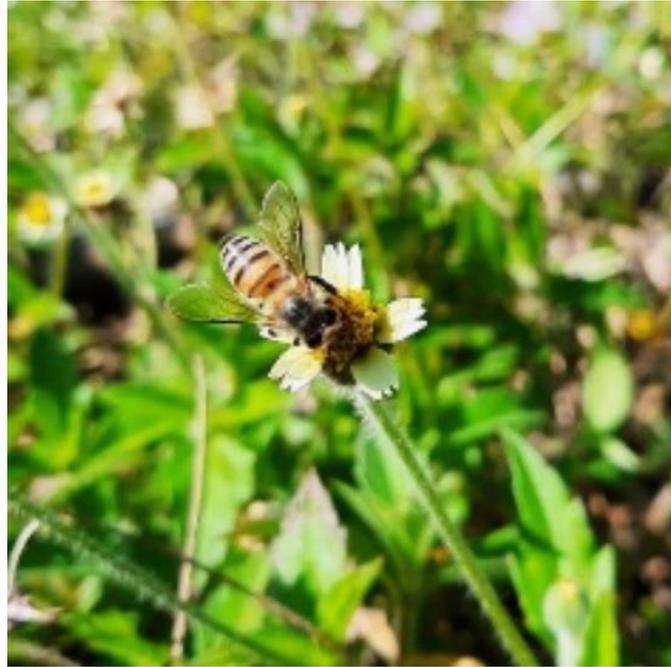


Figura 5. Espécie de abelha exótica *Apis mellifera* polinizando *Tridax procumbens*

Foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (dados não paramétricos) para identificar diferenças na riqueza de visitantes florais entre os locais, contudo não apresentou significância ($X^2 = 4.4029$; $p = 0.2211$; g.l = 3). Ao avaliar apenas os representantes da ordem Hymenoptera houve leve significância ($X^2 = 8.1278$; $p = 0.0434$; g.l = 3), contudo ao aplicar o teste post-hoc de Wilcoxon, as diferenças entre os bairros não foram significativas.

Quanto à abundância de visitantes florais, o modelo linear misto demonstrou que há diferenças significativas na abundância de polinizadores entre espécies de plantas ($t = 6.9661$; $p < 0.001$; g.l = 34) e na interação entre espécies de plantas e tipos de bairros (Tabela 2). Nesse sentido, *Richardia grandiflora* recebeu maior abundância de visitantes florais do que *T. procumbens* (abundância *Tridax*: 3.49 ± 2.55 ; abundância *Richardia*: 19.2 ± 20.9).

Essa mesma diferença entre espécies também foi registrada ao se considerar a interação com o tipo de bairro, entre as espécies em bairros verdes ($t = 2.8515$; $p = 0.0073$; g.l = 34), e entre as espécies em bairros cinzas ($t = 7.0000$; $p < 0.001$; g.l = 34). Nos bairros verdes a abundância de visitantes florais foram 4.9 ± 6.23 para *Tridax* e 10.48 ± 11.9 para *Richardia*, enquanto nos bairros cinzas foram 2.05 ± 2.02 e 27.81 ± 39.97 , respectivamente.

DISCUSSÃO

Nossos dados demonstram que as variações de crescimento e floração foram mais influenciadas por fatores biológicos das espécies de ruderais escolhidas do que por influência da paisagem (quantidade de fragmentos florestais no entorno). Já para a abundância de visitantes florais, a relação das espécies com o seu local de ocorrência foram os fatores mais importantes. Nesse sentido, *Richardia grandiflora* foi a espécie com maiores taxas de floração, porém *Tridax procumbes* possui melhor ocupação vegetativa dos protótipos. Possivelmente, por ter mais flores, *R. grandiflora* atrai mais visitantes florais e a abundância é maior nos bairros cinzas. Dessa forma, nossos dados indicam que o desempenho (crescimento e floração) dessas espécies ruderais não é muito influenciado pela paisagem, mas que os visitantes florais que elas atraem são.

É amplamente conhecido que as condições microclimáticas das cidades são modificadas com o aumento da urbanização, afetando a temperatura (DIHKAN *et al.* 2015), a umidade do ar (CHEN e FRAUENFELD, 2016) e a precipitação (SHEPHERD, 2005). Nesse sentido, espécies de plantas apresentam diferentes respostas as variações climáticas que ocorrem no gradiente urbano-rural (WANG *et al.*, 2020). No entanto, as espécies estudadas, *R. grandiflora* e *T. procumbes*, não foram afetadas por variações climáticas entre as paisagens nos bairros verdes e cinzas. As duas espécies apresentam características de rusticidade e estratégias de adaptação às perturbações, possuindo rápido desenvolvimento vegetativo e reprodutivo e produção de grande quantidade de sementes com alta capacidade germinativa (DUNNETT, 2015). Tais características favorecem o estabelecimento da cobertura vegetal e a permanência das espécies mesmo após eventos climáticos extremos. Dessa forma, parece que a variação climática observada entre os bairros não foi suficiente para promover uma variação de resposta nas espécies estudadas. A fenologia de ambas as espécies em telhados verdes parece responder mais à variações climática mais extremas, pois quando houve significativa variação pluviométrica, como observada entre os meses chuvosos e secos, as espécies foram afetadas e não conseguiram sobreviver durante o período de estiagem referente a outubro e novembro (CAPITULO 1).

A literatura aponta que ambas as espécies são encontradas em ambientes antropizados em várias partes do Brasil e apresentam longas florações, distribuída por todo o ano (ALEIXO *et al.*, 2014; SILVA *et al.* 2008). Contudo, em telhados verdes, a floração das espécies ocorreu apenas no período chuvoso, visto que nos meses secos a cobertura decresceu drasticamente. Desse modo, as variações climáticas de temperatura e umidade existentes entre os bairros verdes e cinzas em João Pessoa (SILVA *et al.*, 2022), não apresentam magnitude suficiente para promover uma resposta diferenciada nos padrões de crescimento e floração das espécies ruderais.

Em relação à riqueza e abundância de visitantes florais, alguns locais apresentaram espécies exclusivas ou mais abundantes do que outros (Tabela 4). A espécie *Apis mellifera* foi mais abundante em bairros verdes, corroborando com outro estudo na mesma cidade, João Pessoa, onde o número de visitas apresentou correlação negativa com quantidade de plantas herbáceas-arbustivas e positiva com a presença de vegetação arbórea, sendo mais presente em ambientes próximos a fragmentos florestais (CRUZ, 2013). Por outro lado, a espécie de abelha solitária, com sociabilidade facultativa, *Augochlora* sp1. foi a mais abundante no Funcionários, bairro cinza. Essa espécie apresenta características generalistas, não sendo exigente quanto aos locais para nidificação, de modo a ocorrerem em uma maior diversidade de ambientes, incluindo área mais antropizadas (FRANKIE *et al.*, 2009).

Quanto aos grupos de polinizadores considerados raros, a espécie *Syrphidae* sp. (Diptera) ocorreu apenas em bairro cinza, enquanto três espécies de Lepidoptera foram observadas apenas em bairros verdes. Lepidoptera possui espécies mais sensíveis aos ambientes antropizados e, assim como algumas espécies de Coleopteros, podem não ser encontradas em área com poucos fragmentos florestais, como observado em um estudo em Paris (DUZSA *et al.*, 2020). Por outro lado, um estudo em Geneva que avaliou a presença de sirfídeos em telhados verdes, encontrou maior riqueza e abundância de espécies em localidades com maior quantidade de áreas verdes circunvizinhas (PASSASEO, 2021), resultado contrário ao nosso resultado.

A maioria das visitas nas duas espécies plantas ocorreu no período entre 8h às 10h. Alguns fatores bióticos influenciam essa preferência, como o comportamento de forrageio relacionados à intensidade luminosa, temperatura

e umidade e a maior abundância de recursos florais em horário próximo a abertura das flores (TSURUDA e PAGE, 2009). Além disso, fatores abióticos também podem afetar a capacidade de forrageio, como a intensidade do vento que interfere na capacidade de voo e no tempo para percorrer uma distância menor de forrageio (BERTHON *et al.*, 2015), e a temperatura, que acelera a desidratação dos indivíduos (CORREIA *et al.*, 2017).

Estudos apontam que telhados verdes apresentam comunidades de polinizadores menos diversa e menos abundante do que encontrado em habitats no nível do solo, como em parques ou áreas naturais (TONIETTO *et al.*, 2011; WALKER, 2016). Nos telhados verdes, no decorrer de 5 meses de monitoramento (junho a outubro), período em que as plantas estavam florescendo, foram registradas 6 espécies de abelhas em Bancários (cinza) e 7 espécies em Jacarapé (verde). Outro estudo monitorou a visitação de abelhas em *R. grandiflora* ao nível do solo nas proximidades desses locais por 1 ano, e encontrou maior riqueza ao registrar 7 espécies de abelhas em bairro cinza e 20 espécies em bairro verde (CRUZ, 2013). Vale salientar que o maior período amostral e o fato da floração da *R. grandiflora* ocorrerem no solo ocorre por todo o ano, possivelmente promoveu maior oferta de recursos, o que justifica a maior frequência de visitantes florais observados. Dentre as espécies registradas ao nível do solo e em telhado verde, apenas *Apis mellifera* e *Augochlora* sp1. estiveram presentes nos dois ambientes.

As características da paisagem circunvizinha aos telhados verdes, como conectividade com outras áreas verdes, altura das edificações e tipos de vegetação, influenciam na diversidade dos visitantes florais (BRAAKER *et al.*, 2014; BLANK *et al.* 2017; MACIVOR, 2015). Nossos resultados apontam que telhados verdes em bairros verdes apresentaram maior riqueza de visitantes florais do que em bairros cinzas, corroborando com estudos realizados em Chicago e Geneva onde a riqueza de abelhas nativas em telhados verdes é positivamente correlacionada com o aumento na quantidade de áreas verdes num raio de 500 a 600m (TONIETTO *et al.*, 2011; PASSASEO, 2021). Nesse sentido, a variação da paisagem exerce influência na guilda de visitantes florais tanto em regiões temperadas quanto em regiões tropicais.

Possivelmente, o aumento do esforço amostral, com coletas em outros bairros ou mais réplicas, possibilitaria uma visão mais completa da relação da

paisagem com o desempenho das plantas e para a atração de visitantes florais. Além disso, é recomendado o maior detalhamento das categorias existentes durante análises de paisagem, a exemplo da diferenciação entre os tipos vegetais, como arbóreo e arbustivo, a fim de avaliar a influência de outros parâmetros da paisagem (TONIETTO *et al.*, 2011). A presente metodologia para análise da paisagem pode ser aprimorada, de modo a incorporar variações de escala e maior diferenciação entre as categorias da paisagem. Além disso, a capacidade de suplementação de habitat proporcionada por telhados verdes é limitada pelo tamanho das estruturas (BRENNEISEN, 2006).

CONCLUSÃO

Nossos dados corroboraram parcialmente nossa hipótese, pois a presença de telhados verdes se mostrou importante área de atração de polinizadores, sugerindo que podem atuar como nicho suplementar para espécies, principalmente em áreas mais verdes que, em geral, suportam maior diversidade de visitantes florais. No entanto, o desempenho (crescimento e floração) de espécies ruderais *R. grandiflora* e *T. procumbes* para a composição do telhado não se mostrou afetada pela variação da cobertura vegetal do entorno, sugerindo que essas espécies não respondem às possíveis variações ambientais causadas pela urbanização observada na cidade de João Pessoa. Por outro lado, grandes variações pluviométricas, que ocorrem entre estações chuvosas e secas, afetam o desempenho das espécies de plantas ruderais testadas.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, K.P.; FARIA, L.B.; GROppo, M.; CASTRO, M.M.N.; SILVA, C.I. Spatiotemporal distribution of floral resources in a Brazilian city: Implications for the maintenance of pollinators, especially bees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 4, 689-696, 2014. doi: 10.1016/j.ufug.2014.08.002

ALTMANN, J. Observational Study of Behavior: Sampling Methods. *Behaviour*, 49(3-4), 227-266, 1974. doi: 10.1163/156853974x00534.

AMPIM, P.S., CABRERA, R.H.J; JABER, F.D. Green roof growing media: Types, ingredients, composition and properties. *Journal of Environmental Horticulture*, 28, 244-252, 2018. doi: 10.24266/0738-2898-28.4.244.

ANDRADE, M.N.M.M.; JERONIMO, C.E.M. Diagnóstico da arborização do espaço urbano da Cidade de João Pessoa, PB. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19, 3, 194-208, 2015.

ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA IDEME – Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba - 2008.

AZEÑAS, V.; JANNER, I.; MEDRANO, H.; GULÍAS, J. Performance evaluation of five Mediterranean species to optimize ecosystem services of green roofs under water-limited conditions. *Journal of Environmental Management*, 212, 236–247, 2018. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.021

BAUMANN, N. Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations. *Urban Habitats*, 4(1), 37–50, 2006.

BENCKE C.S.C.; MORELLATO, L.P.C. Comparison of two methods of plant phenology estimation, their interpretation and representation. *Brazilian Journal of Botany*, 25(3), 269-275, 2002. doi: 10.1590/S0100-84042002000300003

BERNDTSSON, J.C.Z. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecological Engineering*, 36, 351–360, 2010.

BERTHON, K.A.; NIPPERESS, D.A.; DAVIES, P.J.; BULBERT, M.W. Confirmed at Last: Green Roofs Add Invertebrate Diversity. 2015.

BLANK, L.; VASL, A.; SCHINDLER, B.Y.; KADAS, G.J.; BLAUSTEIN, L. Horizontal and vertical island biogeography of arthropods on green roofs: a review. *Urban Ecosyst.* 20, 1–7, 2017. doi: 10.1007/s11252-016-0639-9

BOLLMAN, M. A.; DESANTIS, G. E.; WASCHMANN, R. S.; MAYER, P. M. Effects of shading and composition on green roof media temperature and moisture. *Journal of Environmental Management*, 281, 111882, 2021. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111882

BRAAKER, S.; GHAZOUL, J.; OBRIST, M. K.; MORETTI, M. Habitat connectivity shapes urban arthropod communities: the key role of green roofs. *Ecology*, 95(4), 1010–1021, 2014. doi:10.1890/13-0705.1

BRENNEISEN, S. Space for Urban Wildlife Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, 4, 27-36, 2006.

BROWN, K.S.; FREITAS, A.V.L. Butterfly communities of urban forest fragments in Campinas, São Paulo, Brazil: structure, instability, environmental correlates, and conservation. *Journal of insect conservation*, 6, 217–231, 2002.

CARTER, T.L.; RASMUSSEN, T.C. Use of green roofs for ultra-urban stream restoration in the Georgia Piedmont, USA, 2005.

CHEN, L.; FRAUENFELD, O.W. Impacts of urbanization on future climate in China. *Clim Dyn* 47, 345–357, 2016. doi: 10.1007/s00382-015-2840-6

CIPOLLA, S.S.; MAGLIONICO, M.; STOJKOV, I. A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering*, 95, 876-887, 2016. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.07.009

COLLA, S.R., WILLIS, E., PACKER, L. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae)? *Cities and the Environment*. 2(1), 12-23, 2009.

CORREIA, F.C.S.; PERUQUETTI, R.C; SILVA, A.R; GOMES, F.A. Influência da temperatura e umidade nas atividades de voo de operárias de *Melipona eburnea* (Apidae, Meliponina). *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, 20(2), 65–70, 2017.

CRUZ, R. M. Abelhas visitantes florais de *Richardia grandiflora* (Rubiaceae) ao longo de um gradiente urbano-rural. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4137>.

DIHKAN, M.; KARSLI, F.; GUNEROGLU, A.; GUNEROGLU, N. Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul Megacity. *Ocean & Coastal Management*, 118, 309–316, 2015. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.03.008

DIXON, K.W. Pollination and restoration. *Science*, 325, 571-573, 2009.

DUNNETT N.P.; KINGSBURY N. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland (OR): Timber Press. 2004.

DUNNETT, Nigel. Ruderal green roofs. In: *Green roof ecosystems*. Springer, Cham, 233-255, 2015.

DUSZA, Y.; KRAEPIEL, Y.; ABBADIE, L.; BAROT, S.; CARMIGNAC, D.; DAJOZ, I.; GENDREAU, E.; LATA, J. C.; MERIGUET, J.; MOTARD, E.; RAYNAUD, X. Plant-pollinator interactions on green roofs are mediated by substrate characteristics and plant community composition. *Acta Oecologica*, 105, 103559, 2020. doi: 10.1016/j.actao.2020.103559.

FRANKIE, G.W.; THORP, R.W.; HERNANDEZ, H.; RIZZARDI, M.; ERTTER, B.; PAWELEK, J.C.; WITT, S.L.; SCHINDLER, M.; COVILLE, R.; WOJCIK, V.A., Native bees are a rich natural resource in urban California gardens. *Calif. Agricult*. 63, 113–120, 2009.

GARDEN, J.; MCALPINE, C.; POSSINGHAM, H. Multi-scaled habitat considerations for conserving urban biodiversity: native reptiles and small mammals in Brisbane, Australia. *Landscape ecology*, 25, 1013–1028, 2010.

GIANNINI, T. C.; TAMBOSI, L. R.; ACOSTA, A. L.; JAFFÉ, R.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZ- FONSECA, V. L.; METZGER, J. P. Safeguarding ecosystem

services: a methodological framework to buffer the joint effect of habitat configuration and climate change. *PLoS One*, 10(6), 0129, 2015.

IBGE. Censo demográfico brasileiro. 2011.

JARRETT, A. R.; HUNT, W. F.; BERGHAGE, R. D. Evaluating a spreadsheet model to predict green roof stormwater management. In *Low Impact Development: New and Continuing Applications*, 252-259, 2009.

JOÃO PESSOA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de João Pessoa. João Pessoa: FEA Gráfica e Editora. 2012.

MACIVOR, J. S. Building height matters: nesting activity of bees and wasps on vegetated roofs. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 62(1-2), 88–96, 2015. doi:10.1080/15659801.2015.1052635

MCKINNEY, M. L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban ecosystems*, 11(2), 161-176, 2008.

MONTEIRO, C.M.; CALHEIROS, C.S.C.; PALHA, P.; CASTRO, P.M.L. Growing substrates for aromatic plant species in green roofs and water runoff quality: Pilot experiments in a Mediterranean climate. *Water Sci. Technol*, 76, 1081–1089, 2017.

NEKTARIOS, P. A.; AMOUNTZIAS, I.; KOKKINO, I.; NTOULAS, N. Green Roof Substrate Type and Depth Affect the Growth of the Native Species *Dianthus fruticosus* Under Reduced Irrigation Regimens. *HortScience horts* 46, 8, 1208-1216, 2011. doi:10.21273/HORTSCI.46.8.1208

NOYA, M. G.; CUQUEL, F. L.; SCHAFFER, G.; ARMINDO, R. A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 102, 662-669, 2017. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.02.042.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10): 823-833, 2007. doi: 10.1641/B571005

PASSASEO, A.; ROCHEFORT, S.; PÉTREMAND, G.; AND CASTELLA, E. Pollinators on Green Roofs: Diversity and Trait Analysis of Wild Bees (Hymenoptera: Anthophila) and Hoverflies (Diptera: Syrphidae) in an Urban Area (Geneva, Switzerland). *Cities and the environment*. 14(2), 2021. doi: 10.15365/cate.2021.140201

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for r. Boston, MA: RStudio, PBC, 2020. <http://www.rstudio.com/>

SANTOS, S. M. S.; SILVA, J. F. F.; SANTOS, G. C. S; MACEDO, P. M. T.; GAVAZZA, S. Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban areas, *Journal of Cleaner Production*, 219, 639-648, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.068

SAVI, A. C.; TAVARES, S. F. Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais na retenção de água de chuva. *Revista de Arquitetura IMED*, 7(1), 50-67, 2018. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2647>. Acesso em: 27 maio 2020.

SHEPHERD, J.M. A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. *Earth Interact* 9:1–27, 2005. doi:10.1175/EI156.1

SILVA, R. A. da; EVANGELISTA-RODRIGUES, A.; AQUINO, I. de S.; FELIX, L. P.; MATA, M. F.; PERONICO, A. S. CARACTERIZAÇÃO DA FLORA APÍCOLA DO SEMI-ÁRIDO DA PARAÍBA *Archivos de Zootecnia*, 57, 220, 427-438, 2008. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49515034004.pdf>

SILVA, L. L. Precipitações pluviais da Pré-Estação Chuvosa no período chuvoso e suas influências na produtividade agrícola da Paraíba. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande. 2007. p. 114

SILVA, B.R. Telhados verdes em clima tropical: Uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Coppe - Rio de Janeiro. 2016.

SILVA, R. S. E.; SILVA, R. M.; FREITAS, A. F.; SANTOS, J. S.; SANTOS, C. A. G.; LIMA, E.R.V. Thermal comfort conditions at microclimate scale and surface urban heat island in a tropical city: A study on João Pessoa city, Brazil. *INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOMETEOROLOGY*, 66, 654-672, 2022. doi: 10.1007/s00484-022-02260-y

SILVEIRA; F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. Abelhas brasileiras: sistemática e identificação. 1 ed. Fernando A. Silveira. 253p. 2002.

SOUZA, J. F.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa-PB. *Ambiente Construído*, 16, 1, 21-37, 2016.

TOMMASI, D.; MIRO, A.; HIGO, H. A.; & WINSTON, M. L. Bee diversity and abundance in an urban setting. *The Canadian Entomologist*, 136(6), 851-869, 2004.

TONIETTO, R.; FANT, J.; ASCHER, J.; ELLIS, K.; LARKIN, D. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning*, 103(1), 102–108, 2011. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.07.004

TRAN, S.; LUNDHOLM, J. T.; STANIEC, M.; ROBINSON, C. E.; SMART, C. C.; VOOGT, J. A.; O'CARROLL, D. M. Plant survival and growth on extensive green roofs: A distributed experiment in three climate regions. *Ecological Engineering*, 127: 494-503, 2019. doi: 10.1016/j.ecoleng.2018.09.027

TSURUDA, J. M.; PAGE, R. E. The effects of foraging role and genotype on light and sucrose responsiveness in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Behavioural Brain Research*, 205(1), 132–137, 2009. doi: 10.1016/j.bbr.2009.07.022

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, F. D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. *Water Research*, 63, 94–101, 2014. doi:10.1016/j.watres.2014.06.012

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 740-752, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.119

WALKER, E. A.; LUNDHOLM, J. T. Designed habitat heterogeneity on green roofs increases seedling survival but not plant species diversity. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 694–704, 2017. doi:10.1111/1365-2664.12970

WALKER, E.A. Green roofs as urban habitat for native plant seedlings and wild bees. Saint Mary's University, 2016.

WANG, M.; LI, J.; KUANG, S.; HE, Y.; CHEN, G.; HUANG, Y.; SONG, C.; ANDERSON, P.; ŁOWICKI, D. Plant Diversity Along the Urban–Rural Gradient and Its Relationship with Urbanization Degree in Shanghai, China. *rests*, 11(2), 171, 2020. doi:10.3390/f11020171

WU, T. Abundance and diversity of pollinators on green roofs are affected by environmental factors. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 358, 2019. doi:10.1088/1755-1315/358/2/022053.

CAPÍTULO 3

Performance hidrológica de telhado verde extensivo com vegetação ruderal em clima tropical úmido no Nordeste brasileiro³

INTRODUÇÃO

A urbanização altera drasticamente o meio ambiente, de modo que a ocupação por superfícies impermeáveis e a escassez de espaços verdes aumenta com a proximidade do centro urbano (SPERAC e OBRADOVIC, 2019). A condição de pouca porosidade dessas áreas cria uma barreira a retenção natural e a infiltração das águas pluviais (BURSZTA-ADAMIAK e MROWIEC, 2013). Assim, ocorre o aumento do escoamento superficial, que pode sobrecarregar as estruturas de drenagem urbana existentes e causar o transbordamento em rios e lagos (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Além do agravamento dos processos de erosão e sedimentação e da frequência e intensidade de inundações, o escoamento urbano possui concentrações de poluentes, como pesticidas e resíduos de petróleo, que afetam os habitats da vida selvagem e contaminam os recursos hídricos para abastecimento (MORAN *et al.* 2005).

Em vários países estão sendo implementadas soluções que possam complementar os sistemas de drenagem convencionais através de princípios da gestão sustentável de águas pluviais e de medidas de controle do escoamento superficial na fonte geradora, através da aplicação de sistemas como Low Impact Development (LID), nos EUA e Canadá; Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), no Reino Unido; Water Sensitive Urban Design (WSUD), na Austrália; e Desenvolvimento de Baixo Impacto (DBI), no Brasil (STOVIN *et al.*, 2013; BRASIL, 2012; QUINN e DUSSAILLANT, 2014; YOUNG *et al.*, 2014).

Nesse contexto, as técnicas mais utilizadas incluem microreservatórios de retenção e detenção, jardins filtrantes, valas de infiltração, bioretenção e filtros de areia. Contudo, a disponibilidade de espaços urbanos para implementação diminui à medida que as cidades se tornam mais densas (MENTENS *et al.*,

³ Artigo a ser submetido a revista Ecological Engineering.

2005). Dessa maneira, é eficaz pensar em como as áreas já construídas podem ser aproveitadas para redução desses impactos e para ajudar, especialmente, na drenagem urbana. Telhados podem corresponder a até 32% da superfície horizontal das áreas construídas (FRAZER, 2005) e podem ser grandes aliados na implantação das tecnologias verdes, como os telhados verdes, que podem aumentar as áreas verdes nas cidades, além de exercer grande influência nas relações hídricas das edificações (JELÍNKOVÁ *et al.*, 2015; OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Os telhados verdes são estruturas compostas por substrato e vegetação, que imitam propriedades da vegetação ao nível do solo que estão ausentes nos telhados convencionais (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Quando apresentam substratos com profundidade maior que 15 cm são classificados como intensivos, assim suportam ampla diversidade de plantas e requerem maior manutenção, sendo adequados a estruturas que suportem a sobrecarga estrutural, como novos edifícios comerciais e plataformas de estacionamento. Por outro lado, os telhados extensivos apresentam uma fina camada de substrato, inferior a 15 cm, suportando menor diversidade de plantas, requerendo pouca manutenção, e conseqüentemente, facilitando a adaptação de estruturas já existentes para receberem essa solução (VIJAYARAGHAVAN, 2016; FEITOSA e WILKINSON, 2017).

As principais camadas constituintes dos telhados verdes são isolamento a prova d'água, barramento contra raízes, drenagem, manta filtrante, substrato e cobertura vegetal (CIPOLLA *et al.*, 2016). Os substratos apresentam diversas composições, alguns são majoritariamente compostos por solo local, outros são compostos por misturas de materiais de origem natural ou tecnogênica. A reutilização de resíduos orgânicos, como fibra de coco e casca de arroz carbonizada, e minerais, como tijolos e telhas triturados, são amplamente valorizadas, inclusive em substratos comerciais (GONZÁLEZ-MÉNDEZ e CHÁVEZ-GARCÍA, 2020). No geral, os substratos tendem a ter alta capacidade de retenção de água, mas permitem drenagem suficiente para evitar transbordamentos. Além disso, devem apresentar condições nutricionais suficientes para o estabelecimento da cobertura vegetal (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Os telhados verdes são ambientes desafiadores para o crescimento das plantas devido as condições climáticas extremas, em especial os tipos extensivos por apresentarem finas camadas de substrato (DUNNETT e KINGSBURY, 2004). As plantas suculentas e gramíneas são as mais utilizadas como cobertura vegetal (WALKER e LUNDHOLM, 2017). Contudo, estudos apontam que plantas ruderais apresentam alto potencial de ocupação dessas estruturas, por apresentarem rusticidades e adaptabilidade a perturbações (DUNNETT, 2015). Além disso, o planejamento e design de telhados verdes biodiversos, compostos por plantas de diferentes tipos funcionais, são apontados como formas de aumentar a resiliência e otimizar a multifuncionalidade dessas estruturas (NAGASE e DUNNETT, 2010).

Diversos benefícios ambientais são atribuídos aos telhados verdes, incluindo a diminuição da poluição atmosférica, o aumento do conforto térmico nos edifícios e a redução das ilhas de calor nas cidades, agregação de valor estético, manutenção da biodiversidade urbana (CARTER e FOWLER, 2008; COLLA *et al.*, 2009) e a redução do escoamento superficial (CIPOLLA *et al.*, 2016). Além disso, são apontados benefícios a população, como provisão de bem-estar e de experiências restauradoras (WILLIAMS *et al.*, 2019).

No que tange aspectos hidrológicos, durante eventos chuvosos parte da água é interceptada pela camada de vegetação e absorvida pelas raízes. No decorrer do tempo, outra parcela retorna à atmosfera por meio da evapotranspiração, cujas taxas dependem das condições meteorológicas locais, das espécies e estado de desenvolvimento das plantas, além de variar sazonalmente e diariamente (STOVIN *et al.*, 2013). A parte restante de água infiltra pelo substrato, podendo ser armazenada entre os poros, evaporada a partir do solo ou drenada para a camada de drenagem, gerando assim escoamento (BURSZTA-ADAMIAK *et al.*, 2019). Assim, os telhados verdes proporcionam reduções no escoamento pluvial, podendo contribuir para mitigar os riscos de inundações urbanas e outros problemas associados (GRENFELL *et al.*, 2005; STOVIN *et al.*, 2013).

Diante da diversidade de condições climáticas no planeta e características de construção de telhados verdes, estudos apontam ampla variação de capacidade de retenção do volume precipitado (0-100%), apresentando média de retenção global de 62% (BERNDTSSON, 2010; BURSZTA-ADAMIAK *et al.*,

2019, ZHENG *et al.*, 2021). Estima-se que ao longo do ano, os telhados verdes podem reduzir o escoamento gerado por uma construção na faixa de 60-79% (KÖHLER *et al.* 2002), e além disso, é previsto que a aplicação de cobertura verde em 10% das edificações em centros urbanos promoveria a redução de 2,7% do escoamento regional (MENTENS *et al.* 2005).

Os principais parâmetros que afetam o desempenho hidrológico em telhados verdes são a profundidade do substrato, a inclinação do telhado, o tipo de comunidade vegetal e o padrão de chuva (DUNNETT e KINGSBURY, 2004; MENTENS *et al.*, 2005; VANWOERT *et al.*, 2005). Além desses, o período de tempo seco antecedente ao evento chuvoso também é importante, visto que a capacidade de retenção do telhado aumenta com a duração prolongada de períodos secos (RAZZAGHMANESH e BEECHAM, 2014).

O Brasil é um país continental com diferentes características climáticas em suas regiões. Experimentos avaliando o desempenho hidrológico de telhados verdes no Brasil apresentam taxas de retenção de precipitação entre 8% e 96% para estudos com diferentes composições estruturais e realizados em diversas localidades, contudo poucos foram conduzidos no nordeste brasileiro (BÄR e TAVARES, 2017).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi investigar a capacidade de retenção do volume precipitado, em escala diária, por protótipos de telhados verdes em região tropical úmida. Nossa hipótese é que os telhados verdes apresentaram desempenho significativo na retenção dos volumes de chuva em região tropical úmida, que apresentam ampla variação na magnitude das chuvas.

MATERIAL E METODOS

Área de estudo

O experimento foi conduzido em um edifício residencial de 3 pavimentos no bairro do Jardim Cidade Universitária, João Pessoa - PB (Latitude: -7.1587, Longitude: -34.8337). O telhado recebe incidência solar direta. A cidade de João Pessoa pertence a classificação climática de Koppen de As' (quente e úmido, com chuvas de outono e inverno), com temperatura média entre 25 e 26 °C,

umidade relativa do ar de 80% e precipitação média anual variando de 2000 a 2400 mm (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2008).

Sistema utilizado

O protótipo de telhado verde extensivo utilizado é subdividido em dez caixotes com área de 0,45 m², dos quais quatro caixotes foram utilizados para as análises hidrológicas. Cada caixote tem dimensões de 78 cm x 58 cm x 20 cm construídos com tabuas de madeira de *Pinus* devidamente impermeabilizada com dupla camada de selante e verniz. Na parte interna dos caixotes foi aplicada uma pintura de membrana acrílica, e em seguida foi revestido com lona de polietileno de 300 micras. A camada de drenagem possui altura de 3 cm, sendo composta por copos plásticos de 50ml preenchidos com argilas expandidas com granulometria de 22 a 32 mm. Os copos serviam para armazenamento de água, o extravasamento dos copos escoava pelo fundo até os drenos, onde foram colocadas malhas na entrada das tubulações coletoras para evitar entupimentos. Na camada filtrante foi utilizada a manta geotêxtil não-tecido BIDIM. A camada de substrato possui 15cm de altura e a berma lateral possui 2 cm (distância entre o nível do substrato e o topo dos caixotes). A declividade da bancada é de 2%. Tubulações, conexões e mangueiras de 32mm, devidamente seladas com veda-calha, foram utilizadas para coletar água da camada de drenagem e direcionar para os reservatórios de armazenamento com capacidade de 30 L (Figura 1).

Foram utilizados copos plásticos com o objetivo de permitir armazenamento de água na camada de drenagem. Contudo para construções em maiores escalas e visando a redução da pegada ecológica, é aconselhável evitar a utilização de materiais derivados de petróleo tanto na camada de drenagem quanto em outras camadas.



Figura 1. Componentes estruturais dos protótipos A) Caixote de madeira B) Pintura interna com membrana acrílica C) Revestimento interno com lona de polietileno de 300 micras D) Camada de drenagem com copos plásticos de 50ml preenchidos com argila expandida E) Aspecto visual do substrato F) Tubulação para saída de escoamento G) Sistema de coleta do escoamento pluvial, composto por tubulações, conexões, mangueiras e reservatórios

Tomando por base a literatura sobre substratos para telhados verdes (NOYA *et al.*, 2017; VIJAYARAGHAVAN e RAJA, 2014; NEKTARIOS *et al.*, 2011; AMPIM *et al.*, 2010) foram identificados os materiais aptos e localmente disponíveis para composição do substrato, incluindo solo superficial e a areia grossa que apresentam baixo custo, fibra de coco e vermiculita que promovem

boa aeração, drenagem e redução do peso, e vermicomposto que é rico em nutrientes. O substrato foi preparado com solo superficial franco-arenoso, fibra de coco, vermicomposto, areia grossa e vermiculita. A caracterização físico-química do substrato (Tabela 1) foi realizada no Laboratório de Solos da UFPB - Campus Areia.

Tabela 1. Caracterização físico-química do substrato utilizado nos protótipos de telhado verde

| Parâmetros | Valor | Método |
|--|---------|--|
| Análise física | | |
| Areia (g/kg) | 799 | Granulometria |
| Silte (g/kg) | 117 | |
| Argila (g/kg) | 84 | |
| Densidade do solo (g/cm ³) | 1.13 | |
| Densidade da partícula (g/cm ³) | 2.5 | |
| Porosidade total (m ³ /m ³) | 0.55 | |
| Análise química | | |
| pH | 6 | Extrato aquoso 1:2.5 |
| CE (dS/m a 25C) | 7.87 | |
| P (mg/L) | 206.41 | Extrator Mehlich 1 |
| K (mg/L) | 1238.01 | |
| Na (cmol/L) | 0.97 | |
| H+ Al (cmol/L) | 3.14 | Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH 7,0 |
| Al (cmol/L) | 0.06 | Extrator KCl 1 M |
| Ca (cmol/L) | 6.01 | |
| Mg (cmol/L) | 3.72 | |
| SB (cmol/L) | 13.88 | |
| CTC (cmol/L) | 17.01 | |
| MO (g/kg) | 65.58 | Walkley-Black |

Diâmetro das partículas: Areia (2 - 0,05 mm), Silte (0,05 - 0,002 mm) e Argila (< 0,002mm); CE: Condutividade elétrica; SB: Soma de bases trocáveis; CTC: Capacidade de troca catiônica;

Os quatro caixotes foram divididos entre duas espécies de plantas ruderais nativas, *Rycharia grandiflora* e *Tridax procumbes*, de modo que foram realizadas duplicatas para cada espécie (Figura 2). O plantio foi realizado em junho de 2021, com a aplicação de 12 plantas por caixotes. Nas primeiras duas semanas as plantas receberam rega, nos meses seguintes não houve irrigação, de modo que as plantas receberam apenas água proveniente dos eventos chuvosos.



Figura 2. A) Protótipo de telhado verde com demarcação em vermelho nos 4 caixotes analisados, utilizando duas espécies como cobertura vegetal: B) *Richardia grandiflora* e C) *Tridax procumbens*

Coleta de dados

O monitoramento da precipitação e do escoamento ocorreu de agosto de 2021 a junho de 2022, abrangendo meses chuvosos (agosto, março-junho) e secos (setembro-fevereiro), através de medições realizadas diariamente as 17h.

Para medir a precipitação diária, foi instalado em um ponto central entre os caixotes um pluviômetro profissional da marca São Izidro, com precisão de 1 mm, aferição visual da lâmina de água. Posteriormente foi calculado o volume precipitado sobre o caixote, em litros, mediante a multiplicação da lâmina precipitada pela área de captação do caixote (0,45 m²). Para medir o escoamento acumulado diário, foi instalado em cada caixote um sistema de drenos para

captar o volume excedente de água e direcionar para um recipiente de armazenamento com capacidade máxima de 30 L. O procedimento de medição consistia em esvaziar o reservatório manualmente, sendo o volume drenado aferido utilizando uma proveta com precisão de 50 ml (FRANCO *et al.*, 2019).

Análises

O balanço hídrico dos telhados verdes foi quantificado pela Equação 1. A unidade de medida utilizada em todos os volumes foi lâmina em mm. A evapotranspiração não foi avaliada isoladamente, essa parcela do balanço hídrico foi incorporada ao volume retido.

$$\text{Vol. retido} = \text{Vol. precipitado} - \text{Vol. escoado} \text{ Eq. 1}$$

A taxa de retenção do volume precipitado promovido pelo telhado verde, em porcentagem, foi calculada segundo a Equação 2.

$$\text{Retenção (\%)} = 100 \times \frac{\text{Volume precipitado} - \text{Volume escoado}}{\text{Volume precipitado}} \text{ Eq. 2}$$

As precipitações diárias foram divididas em seis categorias: I ≤ 2 mm, II 2–5 mm, III 5–10 mm, IV 10–20 mm, V 20–40 mm e VI > 40 –70 mm. As condições climáticas dos dias anteriores foram estimadas a partir da quantidade de dias anteriores secos ou chuvosos. Foram criadas quatro categorias para a quantidade de dias antecedentes secos (sem chuvas) (DASC): I ≤ 1 dia, II 1–2 dias, III 3–5 dias, IV > 5 dias (BURSZTA-ADAMIAK *et al.*, 2019; CARSON *et al.*, 2013).

A fim de identificar diferenças nas taxas de retenção pelo uso de dois tipos de coberturas vegetais, utilizando monocultivos das espécies *Tridax procumbes* e *Rycharidia grandiflora*, foi aplicado o teste t de Student utilizando o Programa RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020).

RESULTADOS

Foram monitorados 91 dias com ocorrência de chuvas, abrangendo todas as estações do ano (APÊNDICE 1). A retenção média variou de acordo com as categorias de precipitação diária (Tabela 1). A maior precipitação diária considerada nesse estudo foi 70 mm, visto que o escoamento gerado por volumes precipitados maiores excedeu o limite máximo dos reservatórios de captação.

Tabela 1. Quantidade de dias analisados e retenção do volume diário precipitado por categorias e por estações climáticas

| Por categorias | Dias | Retenção (%) | |
|----------------|------|--------------|--------|
| | | Média | Desvio |
| I (< 2 mm) | 35 | 99.8 | 0.9 |
| II (2–5 mm) | 17 | 90.0 | 22.0 |
| III (5–10 mm) | 15 | 84.7 | 15.7 |
| IV (10–20 mm) | 9 | 53.3 | 37.0 |
| V (20–40 mm) | 8 | 47.5 | 31.5 |
| VI (40–70 mm) | 7 | 20.6 | 16.7 |
| Total | 91 | 66.0 | 20.6 |

A retenção média para todo período monitorado foi de 66%, apresentando melhores retenções (> 84.7%) para precipitações diárias inferiores a 10 mm, além de retenções médias de 50.4%, para precipitações entre 10 e 40 mm, e 20.6%, para valores entre 40–70 mm.

A Figura 3 mostra a variação da retenção para cada categoria de precipitação, onde é possível perceber um comportamento decrescente da retenção à medida que o volume precipitado aumenta.

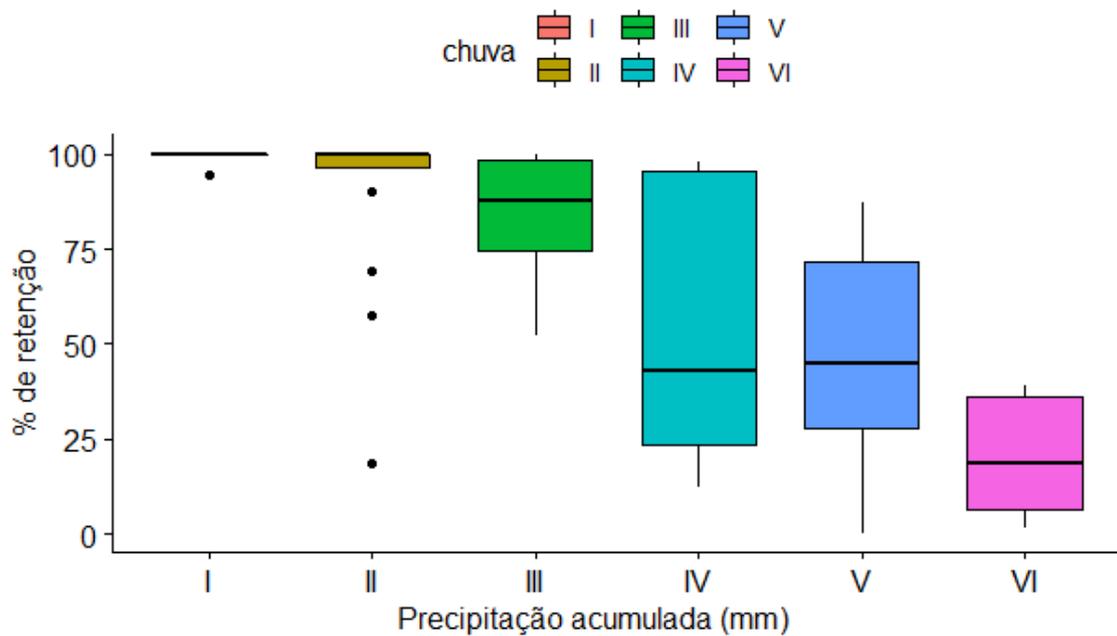


Figura 3. Retenção dos telhados verdes para as categorias de precipitação: I \leq 2 mm; II 2–5 mm; III 5–10 mm; IV 10–20 mm; V 20–40 mm; VI 40–70 mm

Na Figura 4 as categorias de precipitação foram divididas em dois grupos de acordo com as condições climáticas dos dias antecedentes, secos ou chuvosos. Para tanto, foi considerado como dias antecedentes chuvosos quando um ou mais dias anteriores apresentaram chuva, e como dias antecedentes secos quando um ou mais dias anteriores não apresentaram chuva. Assim, é possível perceber que o desempenho hidrológico dos telhados verdes é influenciado pela presença ou não de chuvas nos dias anteriores, de modo que dias antecedentes chuvosos reduzem a capacidade de retenção dos telhados verdes.

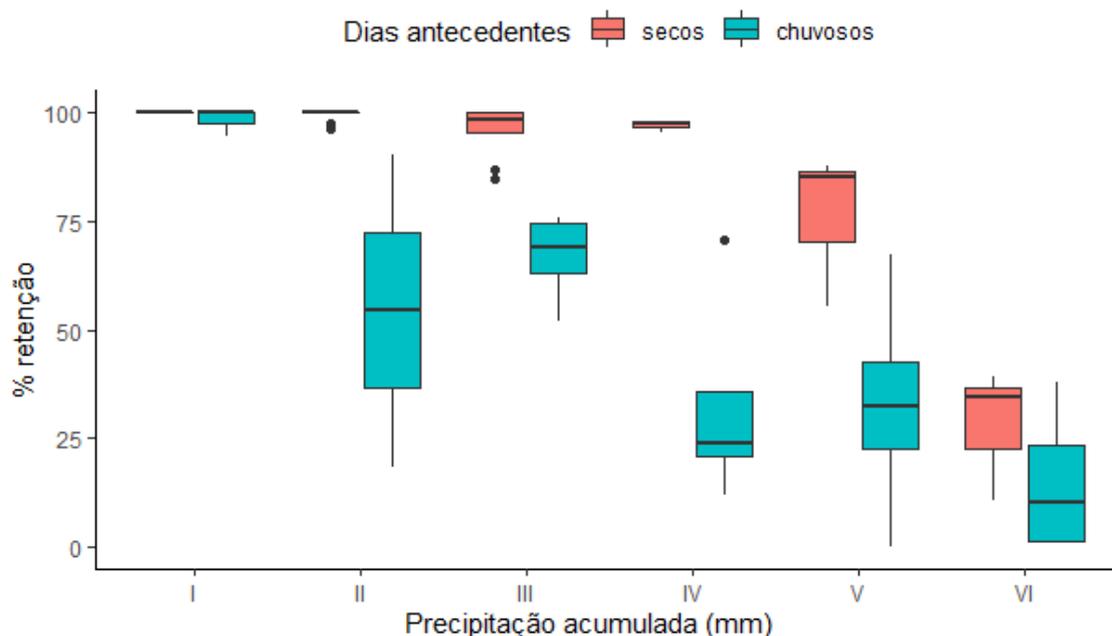


Figura 4. Retenção dos telhados verdes com dias antecedentes secos (vermelho) e chuvosos (azul) para as categorias precipitação diária: I ≤ 2 mm; II 2–5 mm; III 5–10 mm; IV 10–20 mm; V 20–40 mm; VI 40–70 mm

Ao avaliar a influência da quantidade de dias antecedentes sem chuva (DASC) na capacidade de retenção dos telhados verdes, foi observado que o aumento na quantidade de dias secos precedentes ocasionou melhoria na capacidade de retenção das águas pluviais, independente da categoria de precipitação acumulada (Tabela 3). Além disso, foi identificado que os efeitos na retenção provocado por 5 ou mais dias antecedentes sem chuvas foram equivalentes.

Tabela 3. Variação da % de retenção em relação a quantidade de dias antecedentes sem chuva (DASC)

| DASC | Retenção (%) | |
|-------------------|--------------|--------|
| | Média | Desvio |
| I (≤ 1 dia) | 76.5 | 33.4 |
| II (1–2 dias) | 80.5 | 31.4 |
| III (3–5 dias) | 88.6 | 26.3 |
| IV (> 5 dias) | 87.4 | 20.9 |

Quando os dias anteriores foram secos (sem chuvas), os telhados verdes apresentaram capacidade de retenção superior a 75% para precipitações de até 40 mm. Contudo, quando os dias anteriores são chuvosos a eficiência dos telhados verdes é afetada, de modo a apresentar retenções maiores que 50% apenas para precipitações de até 10 mm. Além disso, para mesma categoria de precipitação diária, a condições de dias anteriores chuvosos causou, em média, uma perda de 41,3% na eficiência de retenção dos telhados verdes (Tabela 2).

Tabela 4. Retenção do volume diário precipitado por categorias para casos com dias anteriores secos e chuvosos

| Dias antecedentes Categoria de chuva | Secos | | Chuvosos | | % de perda de eficiência de retenção |
|--|--------------|--------|--------------|--------|--|
| | Retenção (%) | | Retenção (%) | | |
| | Média | Desvio | Média | Desvio | |
| I (< 2 mm/dia) | 100 | 0 | 98.1 | 3.2 | 1.9 |
| II (2–5 mm/dia) | 99.5 | 1.2 | 54.4 | 50.6 | 45.3 |
| III (5–10 mm/dia) | 95.9 | 6.0 | 67.2 | 9.2 | 29.9 |
| IV (10–20 mm/dia) | 96.9 | 1.3 | 32.7 | 25.9 | 66.2 |
| V (20–40 mm/dia) | 75.9 | 17.9 | 33.0 | 27.5 | 56.5 |
| VI (40–70 mm/dia) | 28.5 | 15.2 | 14.9 | 17.4 | 47.7 |
| Todos | 82.7 | 6.9 | 50.1 | 22.3 | 41.3 |

Por fim, a utilização de coberturas vegetais diferentes utilizando as espécies *Rycharidia grandiflora* e *Tridax procumbes* não causou diferenças significativas na capacidade de retenção dos telhados verdes ($X^2 = 0.457$; $p = 0.9281$; g.l = 3).

DISCUSSÃO

Nossos dados mostram que telhados verdes em clima tropical, como experienciado na cidade de João Pessoa, podem apresentam capacidade de retenção média superior a 50% para precipitações diárias inferiores a 40 mm. Além disso, a condição climática chuvosa nos dias anteriores exerce forte influência na capacidade de retenção dessas estruturas, afetando o desempenho em precipitações superiores a 10 mm.

O aumento do volume precipitado acarretou em perda da capacidade de retenção dos telhados verdes, de modo que os telhados verdes apresentaram

retenções médias de 92,25%, 50,4% e 20,6% para precipitações diárias de menores que 10 mm, entre 10 e 40 mm e entre 40 e 70 mm, respectivamente. Esse comportamento é relatado em diversos estudos com diferentes regimes pluviométricos. A exemplo de um estudo realizado em Nova York, região de clima temperado, que identificou retenções médias de chuva de 85%, 48% e 32% para eventos com magnitudes menores de 20 mm, entre 20-40 mm e superiores a 40 mm, respectivamente (HAKIMDAVAR *et al.*, 2004).

Os telhados verdes avaliados apresentaram retenção média de 20.6% (equivalente a 9.66 mm em média) para precipitações diárias entre 40-70 mm. Dado que as variações pluviométricas são mais intensas em climas tropicais do que temperados, especialmente na costa litorânea. A cidade de João Pessoa apresenta um dos maiores volumes de precipitação anual do país, composto por eventos extremos que chegam a atingir volumes diários superiores a 140mm (MEDEIROS *et al.*, 2015). Além disso, 60% das precipitações máximas diárias atingem magnitude de 51 a 100 mm. Nesse cenário, é indicado a integração com outras estruturas que ampliem a capacidade de retenção, como microreservatórios, ou que permitam também a infiltração das águas, como valas e bioretensões, para assim contribuir com a mitigação do escoamento superficial escoamento gerado por precipitações extremas.

As condições climáticas dos dias anteriores, secos ou chuvosos, influenciaram na capacidade de retenção dos telhados verdes, causando, em média, uma perda 41,3% na eficiência de retenção. Um estudo realizado na mesma cidade, João Pessoa, identificou esse efeito ao avaliar a capacidade de retenção de um telhado verde modular utilizando blocos de concreto adicionados de agregados de EVA (Etileno Vinila de Acetato), com 10 cm de substrato. Foram investigados dois casos de precipitações diárias com condições climáticas dos dias anteriores distintas, obtendo retenção de 90.5% para precipitação diária de 2.6 mm/dia com 3 dias anteriores secos e 73.3% para precipitação de 6.6 mm/dia com 4 dias antecedentes chuvosos (MENDONÇA e MELO, 2020). Para condições similares de precipitação diária e dias antecedentes, nossos dados registraram retenção de 100% e 75.8%, respectivamente.

Em relação ao tipo de cobertura vegetal, não foi observado diferenças significativas na capacidade de retenção dos telhados verdes devido a utilização de *Rycharidia grandiflora* e *Tridax procumbes* como cobertura vegetal. Estudos

apontam que coberturas compostas por herbáceas ou gramíneas aumentam a capacidade de retenção de telhados verdes em comparação a suculentas, em virtude de as primeiras apresentarem maiores taxas de evapotranspiração (NAGASE e DUNNETT, 2010). No presente estudo ambas as espécies são de mesmo tipo funcional, herbáceas ruderais, que possivelmente apresentam respostas semelhantes.

O presente trabalho apresentou algumas limitações relacionadas ao tamanho do protótipo, visto que telhados verdes em escala real, construções definitivas, podem apresentar variações de desempenho em comparação a escala experimental (CARPENTER e KALUVAKOLANU, 2011). Outro ponto é que as medições foram restritas a análises volumétricas em nível diário. Contudo, medições em menores escalas de tempo, por evento de chuva ou por instantes do evento, permitem maior precisão dos resultados e possibilitam outras análises, como estudos sobre o atraso no início do escoamento e a redução de pico de vazão.

CONCLUSÃO

Telhados verdes utilizando plantas ruderais em clima tropical (quente e úmido) apresentam significativa capacidade de retenção de volumes precipitados, com melhor desempenho para precipitações diárias inferiores a 40 mm/dia. Foram observados comportamentos hidrológicos relatados pela literatura, como a redução da retenção mediante o aumento do volume precipitado, e também, pela ocorrência de dias chuvosos anteriores. O desempenho dos telhados não variou com a utilização de coberturas vegetais com duas espécies de herbáceas ruderais diferentes. Para precipitações mais intensas (> 40 mm/dia), os telhados perdem gradualmente sua eficiência (< 20.7%), sendo recomendável a integração com outras medidas de controle de escoamento na fonte. Por fim, estudos em telhados verdes em maiores escalas e aprimoramento nas medições, de volume e vazão escoados em menores escalas de tempo, poderão aprofundar o conhecimento sobre o desempenho hidrológico da tecnologia.

REFERÊNCIAS

AMPIM, P.S., CABRERA, R.H.J; JABER, F.D. Green roof growing media: Types, ingredients, composition and properties. *Journal of Environmental Horticulture*. 28, 244-252, 2018. doi: 10.24266/0738-2898-28.4.244.

ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA IDEME, Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba, 2008.

BÄR, B.V.; TAVARES, S.F. Estado da arte do comportamento hidrológico de telhados verdes no brasil: uma revisão sistemática. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, 8(4), 257–271, 2017. doi: 10.20396/parc.v8i4.8650106

BERNDTSSON, J.C.Z. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecological Engineering* 36, 351–360. 2010.

BRASIL. Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais. Ministério das Cidades, 2012. 26 p.

BURSZTA-ADAMIAK E., MROWIEC M. Modelling of green roofs' hydrologic performance using EPA's SWMM. *Water Science & Technology*, 68(1), 3-42, 2013. doi: 10.2166/WST.2013.219

BURSZTA-ADAMIAK E.; STANCZYK J.; ŁOMOTOWSKI J. Hydrological performance of green roofs in the context of the meteorological factors during the 5-year monitoring period. *Water and Environment Journal*, 33: 144–154. 2019. doi: 10.1111/wej.12385

CARPENTER, D. D.; KALUVAKOLANU, P. Effect of Roof Surface Type on Storm-Water Runoff from Full-Scale Roofs in a Temperate Climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(3), 161–169, 2011. doi:10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000185

CARSON, T.B., MARASCO, D.E., CULLIGAN, P.J. AND MCGILLIS, W.J. Hydrological performance of extensive green roofs in New York City: observations and multi-year modelling of three full-scale systems. *Environmental Research Letters*, 8(1), 1–13. 2013.

CARTER, T.; FOWLER, L. Establishing Green Roof Infrastructure Through Environmental Policy Instruments. *Environmental Management*. 42,151-164, 2008.

CIPOLLA, S., MAGLIONICO, M. AND STOJKOV, I. A longterm hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMMS. *Ecological Engineering*, 95, 876–887, 2016.

COLLA, S.R., WILLIS, E., PACKER, L. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae)? *Cities and the Environment*. 2(1), 12-23, 2009.

DUNNETT N.P., KINGSBURY N. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland (OR): Timber Press. 2004.

DUNNETT, N. Ruderal green roofs. In: *Green roof ecosystems*. Springer, Cham. 233-255, 2015.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. Retrofitted green roofs and walls and improvements in thermal comfort. *AIP Conference Proceedings*, 1856, 020006, 2017. doi: 10.1063/1.4985558

FRANCO, B.; ANDRES, C.; KONRAD, J.; TASSI, R.; LIBERALESSO, T. Evaluation of rainfall in modules of green roofs with different substrates. *Acta Brasiliensis*. 3(2), 69-73, 2019. doi: 10.22571/2526-4338184

FRAZER L. Paving paradise. *Environmental Health Perspectives*, 113, 457–462. 2005.

GONZÁLEZ-MÉNDEZ, B.; CHÁVEZ-GARCÍA, E. Re-thinking the Technosol design for greenery systems: Challenges for the provision of ecosystem services in semiarid and arid cities. *Journal of Arid Environments*, 179, 104191, 2020. doi: 10.1016/j.jaridenv.2020.104191

GRENFELL, M.C.; ELLERY, W.N.; PRESTON-WHYTE, R.A. Wetlands as early warning (eco) systems for water resource management. *WATER SA*, 31(4), 465–472. 2005.

HAKIMDAVAR, R., CULLIGAN, P. J., FINAZZI, M., BARONTINI, S., & RANZI, R. Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*, 73, 494–508, 2014. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.09.080

JELÍNKOVÁ V.; DOHNAL M.; PICEK T. A Green Roof Segment for Monitoring the Hydrological and Thermal Behaviour of Anthropogenic Soil Systems. *Soil & Water Res.*, 10 (4), 262–270, 2015. doi: 10.17221/17/2015-SWR

KÖHLER M.; SCHMIDT M.; GRIMME F.W.; LAAR M.; DE ASSUNÇÃO PAIVA, V.L.; TAVARES, S. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics—far beyond the aesthetics. *Environment and Health*, 13, 382–391, 2002.

MEDEIROS, B. C., BARRETO, A. B., OLIVEIRA., J. D. A, ARAGÃO, M. R. S. Análise quantitativa da variabilidade da chuva em João Pessoa - PB, em várias escalas de tempo. *Revista Brasileira de Geografia Física - VIIWMCRHPE*, 8, 1748-1761, 2015.

MENDONÇA, T. M.; MELO, A. B. Retenção da água da chuva pelo telhado verde com pré-moldado cimentício com EVA. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, 11, e020007, 2020. doi: 10.20396/parc.v11i0.8651659.

MENTENS, J.; RAEA, D; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77 (3), 217–226, 2006.

MORAN A.; HUNT B.; SMITH J. Hydrologic and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. Paper presented at the Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show; 4–6 May 2005, Washington, DC.

NAGASE, A.; DUNNETT, N Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and urban planning*, 97(4), 318-327, 2010.

NEKTARIOS, P. A.; AMOUNTZIAS, I.; KOKKINOU, I.; NTOULAS, N. Green Roof Substrate Type and Depth Affect the Growth of the Native Species *Dianthus fruticosus* Under Reduced Irrigation Regimens. *HortScience horts*, 46 (8), 1208-1216, 2011. doi: 10.21273/HORTSCI.46.8.1208.

NOYA, M.G., CUQUEL, F.L., SCHAFER, G., ARMINDO, R.A. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 102, 662-669, 2017. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.02.042.

OBERNDORFER E., LUNDHOLM J., BASS B., COFFMAN R. R., DOSHI H., et. al. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57 (10), 823-833, 2007. doi: 10.1641/B571005

QUINN, R.; DUSSAILLANT, A. Predicting infiltration pollutant retention in bioretention sustainable drainage systems: model development and validation. *Hydrology Research*, 45(6), 855–867. 2014.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S. The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 499, 284, 2014.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for r. Boston, MA: RStudio, PBC, 2020. <http://www.rstudio.com/>

ŠPERAC, M.; OBRADOVIC, D. Parameters of interest for the design of green infrastructure. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. 13(1), 92-101, 2019. doi: 10.4090/juee.2019.v13n1.092101

STOVIN, V.; POË, S.; BERRETTA, C.H. A modelling study of long term green roof retention performance. *Journal of Environmental Management*, 131, 206–215, 2013.

VANWOERT N.D.; ROWE D.B.; ANDRESEN J.A.; RUGH C.L.; XIAO L. Watering regime and green roof substrate design impact *Sedum* plant growth. *HortScience* 40, 659–664, 2005

VIJAYARAGHAVAN, K., & RAJA, F. D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and

adsorption. *Water Research*, 63, 94–101, 2014. doi: 10.1016/j.watres.2014.06.012

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 57, 740-752, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.119

WALKER E.A.; LUNDHOLM J.T. Designed habitat heterogeneity on green roofs increases seedling survival but not plant species diversity. *J Appl Ecol*. 55, 694-704, 2017. doi: 10.1111/1365-2664.12970

WILLIAMS, K.J.H., LEE, K.E., SARGENT, L., JOHNSON, K.A., RAYNER, J., FARRELL, C., MILLER, R.E., WILLIAMS, N.S.G. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126399, 2019. doi:10.1016/j.ufug.2019.126399

YOUNG, R.; ZANDERS, J.; LIEBERKNECHT, K.; FASSMAN-BECK, E. A comprehensive typology for mainstreaming urban green infrastructure. *Journal of Hydrology (Amst)*, 519, 2571–2583, 2014.

ZHENG, X.; ZOU, Y.; LOUNSBURY, A.W.; WANG, C.; WANG, R. Green roofs for stormwater runoff retention: A global quantitative synthesis of the performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105577, 2021. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105577

CAPÍTULO 4

Percepção dos profissionais da construção civil sobre telhados verdes em João Pessoa, Nordeste do Brasil⁴

INTRODUÇÃO

A urbanização causa alterações no meio ambiente, sendo uma das atividades humanas mais danosas à qualidade ambiental. Estima-se que as atividades de construção civil utilizem de forma direta ou indireta cerca de 50% dos recursos naturais extraídos (BRASILEIRO e MATOS, 2018). O desenvolvimento urbano desordenado afeta diversas cidades brasileiras e de países do Sul global, de modo que cidades são construídas de forma adensada e com altas taxas de impermeabilização (DASH *et al.*, 2020). Tal cenário gera diversos problemas ambientais e sociais, em especial, afetando a eficiência de serviços ecossistêmicos, tidos como as contribuições e serviços garantidos e prestados pelos ecossistemas para o bem-estar das pessoas (HAINES-YOUNG e POTSCHIN, 2018).

Cerca de 40-50% da área impermeável das cidades são telhados (DUNNETT e KINGSBURY, 2004), de modo a exercer forte influência nos fluxos hidrológicos e térmicos nos centros urbanos. Dentre as medidas de infraestrutura verde, tidas como um conjunto de áreas naturais e seminaturais que proporcionem estrategicamente a manutenção de serviços ecossistêmicos e a proteção da biodiversidade, os telhados verdes são apontados como uma promissora medida mitigatória.

Os telhados verdes são ecossistemas construídos com vegetação e substrato instalados sobre estruturas, podendo complementar ou substituir os telhados convencionais (CIPOLLA *et al.*, 2016). São classificados em extensivos, semi-intensivos ou intensivos a depender das características de altura de substrato, tipos de plantas, necessidade de manutenção, sobrepeso de carga e acessibilidade. Os intensivos são mais profundos, comportam maior diversidade de plantas e requerem manutenção similar a um jardim. Por outro lado, os

⁴ Artigo a ser submetido a revista Sustainability.

extensivos apresentam fina camada de substrato e comportam plantas menores e resistentes, reduzindo a manutenção (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Estudos comprovam a funcionalidade dos telhados verdes na promoção de serviços ecossistêmicos, como na redução do escoamento superficial, na melhoria da qualidade da água, na diminuição da poluição atmosférica e do ruído, no aumento do conforto térmico nos edifícios e na redução da ilha de calor nas cidades e no aumento dos níveis de biodiversidade urbana (CARTER e FOWLER, 2008; COLLA *et al.*, 2009; TONIETTO *et al.*, 2011; CIPOLLA *et al.*, 2016). Além disso, promovem benefícios sociais envolvendo prazer estético, bem-estar e experiências restauradoras (WILLIAMS *et al.*, 2019), e apresentam potencial educacional, científico e de uso para agricultura urbana.

Em alguns países do Norte Global, como Estados Unidos, Canadá e Alemanha, existem programas bem-sucedidos de implementação de telhados verdes por meio de políticas públicas bem executadas, sensibilização da população e existência de diretrizes técnicas (RANGEL *et al.*, 2014). Os países do Sul Global, que possuem conjuntura política, econômica, social e de ordenamento territorial diferente dos países do Norte, apresentam obstáculos como a falta de instrumentos para execução de políticas públicas e a carência de dados e informações técnicas sobre a tecnologia (GOLDENFUM *et al.*, 2007), inclusive sobre a performance dos telhados com vegetação nativa e sob condições climáticas regionais. No Brasil, poucos estados possuem legislação sobre telhados verdes, entre eles Rio de Janeiro e São Paulo no sudeste, Porto Alegre no sul e Recife e Paraíba no nordeste do país. Na Paraíba, a Lei Estadual nº 10.047, de 09 de julho de 2013, dispõe sobre condições nas quais os edifícios construídos deveram obrigatoriamente instalar telhados verdes. Apesar da existência de instrumentos legais que apoiem a instalação de tecnologias verdes e dos telhados verdes, seu uso ainda é incipiente em países da América Latina, por questões relativas à custos, informações e mão de obra capacitada (VASCONCELOS e BARBASSA, 2021). No entanto, os profissionais da construção civil podem ser importantes aliados nesse processo (ZAHIR *et al.*, 2014).

Profissionais da construção civil desempenham um papel determinante no desenvolvimento dos centros urbanos, desde a concepção de projetos a execução das estruturas e acabamentos. Sendo assim, arquitetos e engenheiros

ocupam uma posição social onde podem influenciar decisões ao indicar caminhos mais sustentáveis. Além disso, a atuação direta nesse setor permite uma visão realista do funcionamento, podendo identificar possibilidades de inovações e barreiras. Nesse sentido, o entendimento da percepção desses trabalhadores em relação aos telhados verdes, incluindo benefícios, obstáculos e oportunidades, é essencial para maior implementação da tecnologia (ZAHIR *et al.*, 2014).

O objetivo desse artigo foi investigar a percepção dos profissionais de construção civil, incluindo arquitetos, engenheiros ambientais e civis, em relação ao papel dos telhados verdes, sua aplicabilidade e aos serviços ecossistêmicos proporcionados em João Pessoa, nordeste do Brasil. A hipótese é que os profissionais da construção civil de João Pessoa carecem de conhecimento em relação à essa tecnologia, afetando sua disseminação e uso.

MATERIAL E METODOS

Área de estudo

A cidade de João Pessoa é a capital da Paraíba, localizada na região costeira do nordeste brasileiro. Possui população de 723.515 habitantes em uma área de 211,474 km² e densidade demográfica igual a 3.421,28 hab/km². Além disso, possui um Produto Interno Bruto (PIB) per capita igual a R\$ 24.319,82 e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) igual a 0,763, sendo considerada uma cidade de desenvolvimento médio (IBGE, 2011). A cidade apresentou expressivo crescimento urbano nos últimos 40 anos (PMJP, 2014), marcados por conflitos socioambientais oriundos de processos de impermeabilização do solo, ocupação desordenada e irregular de residências e pela retirada de vegetação (SANTOS, 2018). Em 2010, João Pessoa contava com 30,67% de cobertura vegetal em sua área, incluindo remanescentes vegetais, manguezais, áreas degradadas e arborização urbana (SILVA, 2012).

Coleta de dados

Foram distribuídos questionários online aos profissionais da construção civil, incluindo arquitetos, engenheiros ambientais e engenheiros civis da cidade de João Pessoa. O critério de seleção dos participantes foi possuírem graduação nos cursos supracitados. O questionário foi organizado em 2 seções: a primeira seção objetivou identificar o perfil dos participantes, em termos de formação, tempo de atuação, naturalidade, vivências no exterior e experiência com construção civil e certificações ambientais; e a segunda seção abordou a percepção sobre telhados verdes, de modo a perguntar sobre experiências anteriores, legislação local existente sobre a tecnologia, viabilidade de execução, benefícios/serviços ecossistêmicos associados, barreiras para implementação e medidas para melhorar a disseminação (APÊNDICE 2)

As questões voltadas para a percepção dos profissionais foram organizadas utilizando-se a escala de Likert (LIKERT, 1932), com 5 itens para obtenção das respostas apresentadas como opções entre “nunca” a “sempre”, “nada familiar” a “muito familiar”, “menos relevante” a “mais relevante” e “discordo totalmente” a “concordo totalmente”. Além disso, um espaço para comentários foi adicionado ao final do questionário para coletar informações não contempladas nas perguntas objetivas.

Antes da aplicação dos questionários, o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da UFPB (Registro 40532020.0.0000.5188) e todos os entrevistados foram convidados a assinar o termo de consentimento livre esclarecido. A coleta de dados ocorreu no mês de setembro/2021 através de divulgação via e-mail e redes sociais.

Análise de dados

Foi utilizado o Índice Relativo de Importância (RII) para averiguar o nível de familiaridade, concordância e relevância das respostas através da Equação 1 (HOSSAIN *et al.*, 2019).

$$RII = \frac{\sum_1^5 W_i X_i}{4 \sum_1^5 X_i} \quad (1)$$

Onde,

i = índice de categoria de resposta, e i = 5, 4, 3, 2 e 1 corresponde aos fatores nada familiar, ligeiramente familiar, um pouco familiar, moderadamente

familiar e muito familiar. De modo análogo, ocorre com as respostas de “nunca” a “sempre”, “menos relevante” a “mais relevante” e “discordo totalmente” a “concordo totalmente”.

W_i = peso dado à i -ésima resposta e $W_i = 4, 3, 2, 1$ e 0 , respectivamente.

X_i = frequência da resposta i .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil dos profissionais e experiências no uso de telhados verdes

Os questionários foram respondidos por 105 profissionais da área da construção civil, sendo que a maioria foi de arquitetos (Tabela 2). Os profissionais apresentaram perfis diferenciados, desde recém graduados a veteranos. Aproximadamente um terço dos entrevistados possui mais de 5 anos de profissão, além de que metade possui mais de 4 projetos realizados. De modo que ao unir os profissionais com mais de 5 anos de atuação e os recém graduados (< 5 anos) com mais de 4 projetos realizados totalizam-se 73% da amostra (Tabela 1), assim garantindo maior confiabilidade do conhecimento obtido pelas respostas. Vale salientar que todos os participantes receberam mesmo peso em todas as respostas, independente das especialidades. A maioria dos profissionais trabalha nos setores privado e público, além disso, uma pequena parcela atua no terceiro setor. Quanto ao tipo de edifícios projetados ou construídos, a maior parte dos profissionais trabalhou com as categorias residenciais e comerciais, com 1 a 2 andares. Um terço dos participantes não atuou com construções de edifícios.

Tabela 1. Perfil dos profissionais entrevistados.

| Item | Nº de participantes | Porcentagem |
|----------------------|---------------------|-------------|
| Profissão | | |
| Arquiteto | 41 | 39.05 |
| Engenheiro Ambiental | 32 | 30.48 |
| Engenheiro Civil | 32 | 30.48 |
| Setor de atuação | | |
| Privado | 54 | 46.55 |

| | | |
|---------------------------|----|-------|
| Publico | 47 | 40.52 |
| Terceiro Setor | 15 | 12.93 |
| Anos de atuação | | |
| 0 a 5 | 66 | 62.86 |
| 6 a 15 | 30 | 28.57 |
| 16 a 25 | 4 | 3.81 |
| 25+ | 5 | 4.76 |
| Número de projetos feitos | | |
| 0 a 3 | 53 | 50.48 |
| 4 a 6 | 18 | 17.14 |
| 7 a 10 | 8 | 7.62 |
| 10+ | 26 | 24.76 |

As certificações mais aplicadas no Brasil são a LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e a AQUA-HQE (*High Quality Environment*), tendo como foco a região Sudeste, seguida dos selos brasileiros Casa Azul da Caixa Econômica Federal e PROCEL Edifica (SALGADO, 2019). A aplicação de certificações e selos na Paraíba é restrita a alguns casos. Na cidade de João Pessoa existem duas construções certificadas com LEED (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021) e uma com AQUA-HQE (TWS EMPREENDIMENTOS, 2021), no entanto, não foram identificadas construções com qualificações nacionais. Corroborando com a aplicação ainda pouco expressiva, os entrevistados demonstram estar ligeiramente familiarizados com o tema (RII = 0.374), além de citarem principalmente o Selo Casa Azul (34%), LEED (32%), Selo PROCEL Edifica (19%) e AQUA-HQE (11%). Analisando isoladamente as categorias, os profissionais mais familiarizados foram da engenharia ambiental (RII = 0.406), seguidos da engenharia civil (RII = 0.391) e arquitetura (RII = 0.335), com índice variando de pouco familiar a ligeiramente familiar. O Selo Casa Azul foi mais conhecido entre engenheiros(as) civis (54%) e o LEED entre arquitetos(as) (39%) e engenheiros(as) ambientais (36%).

A procura por telhados verdes em João Pessoa relatada pelos entrevistados é baixa (19%), apresentando pequeno aumento ao analisar isoladamente profissionais da arquitetura (24%) e engenharia ambiental (22%). Por outro lado, 36% dos entrevistados já sugeriram essa tecnologia para clientes, destacando-se os arquitetos, grupo onde mais de 50% dos profissionais afirmam já terem indicado aos seus clientes essa tecnologia.

Apenas 13% dos profissionais declararam ter experiência em projetos utilizando de telhados verdes, mais uma vez, sendo os profissionais da arquitetura os que tem maior experiência no assunto. Não houve relato de experiências anteriores com telhados verdes entre os entrevistados da engenharia ambiental. Em relação às empresas que trabalham com telhados verdes em João Pessoa, 19% dos participantes alegam conhecer alguma, com destaque para os profissionais da arquitetura. Os resultados apontam que o mercado dos telhados verdes em João Pessoa ainda é incipiente, apresentando baixa procura pelo serviço por clientes, poucos profissionais com experiências anteriores e carência de conhecimento sobre a legislação municipal sobre telhados verdes.

Na Paraíba, a Lei estadual 10.047 de 2013 dispõe que os projetos de condomínios edificados, residenciais ou não, com mais de 3 (três) unidades agrupadas verticalmente, protocolizados nas Prefeituras dos Municípios Paraibanos, deverão prever a construção do “Telhado Verde”. Além disso, descreve sobre a cobertura extensiva ou intensiva, de preferência por plantas nativas e adaptadas ao clima tropical e as variações de temperatura, aspectos relevantes para o bom estabelecimento de coberturas verdes (DUNNETT, 2015).

A Lei também aponta para o uso de pouca água, de modo a não servir de habitat de mosquitos como o *Aedes aegypti*. Apesar de alguns estudos apontarem que plantas que armazenam água em sua estrutura com formato de copo, como as espécies da família Bromeliaceae, atuarem como focos de mosquitos da dengue, especialmente em ambientes altamente antropizados e em épocas de epidemia (GONÇALVES e MESSIAS, 2008), estudos mais recentes apontam que essas plantas não são focos significativos de proliferação (MOCELLIN *et al.*, 2009).

Apesar a existência da referida lei municipal, apenas 14% dos entrevistados disseram estar cientes dessa norma, dessa vez com destaque para os profissionais da engenharia ambiental.

Os problemas urbanos estão diretamente relacionados com a forma que a cidade é construída. A abordagem “*design thinking*” busca encontrar as melhores ideias e soluções definitivas para os maiores problemas do mundo de forma criativa, iterativa e prática, partindo do ser humano (BROWN, 2008). Em um estudo realizado nos Estados Unidos (TODOROFF *et al.*, 2021), ao comparar

o desempenho em “*design thinking*” de recém graduados de arquitetura e engenharia civil, foi identificado que as diferenças curriculares promoveram maior desempenho dos(as) arquitetos(as) ao avaliar as características de busca de feedback, pensamento integrativo, otimismo, experimentalismo e colaboração. Assim, diante das similaridades entre os sistemas de ensino dos EUA e Brasil no que tange as tecnologias (OLIVEIRA *et al.*, 2020), é possível que as diferenças curriculares encontradas no Brasil entre os cursos de arquitetura e engenharias favoreçam a maior proximidade com o tema dos telhados verdes pelos entrevistados da arquitetura. Por outro lado, mediante o aspecto interdisciplinar e os conhecimentos de legislação previstos para exercício da profissão de engenharia ambiental (TANSEL, 2008), era esperado que esses profissionais apresentassem maior conhecimento acerca da Lei Municipal 10.047 de 2013.

Tabela 2. Experiência dos profissionais com telhados verdes na cidade de João Pessoa, PB.

| Item | Porcentagem | | | |
|---|-------------|-------------|----------------|------------|
| | Total | Arquitetura | Eng. ambiental | Eng. civil |
| Já tiveram clientes interessados | | | | |
| Sim | 19.05 | 24.39 | 21.88 | 9.38 |
| Não | 80.95 | 75.61 | 78.13 | 90.63 |
| Já sugeriram a clientes | | | | |
| Sim | 36.19 | 53.66 | 31.25 | 18.75 |
| Não | 63.81 | 46.34 | 68.75 | 81.25 |
| Já desenvolveu algum projeto de telhado verde | | | | |
| Sim | 13.33 | 29.27 | 0.00 | 6.25 |
| Não | 86.67 | 70.73 | 100.00 | 93.75 |
| Conhece empresas que trabalham com telhados verdes em João Pessoa | | | | |
| Sim | 19.05 | 26.83 | 12.50 | 15.63 |
| Não | 80.95 | 73.17 | 87.50 | 84.38 |
| Conhece a Lei Municipal 10.047 de 2013 | | | | |
| Sim | 14.29 | 14.63 | 21.88 | 6.25 |
| Não | 85.71 | 85.37 | 78.13 | 93.75 |

Em relação aos dois principais tipos de telhados verdes, sendo os extensivos mais adaptáveis a estruturas existentes por apresentarem menor peso, custo e necessidade de manutenção em relação aos intensivos, que se

assemelham a jardins com substratos mais profundos e comportam plantas de médio e grande porte (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Os entrevistados demonstraram estar ligeiramente familiarizados com telhados verdes extensivos (RII = 0.369) e intensivos (RII = 0.274), com exceção dos profissionais da arquitetura que em relação aos telhados verdes extensivos indicaram estar pouco familiarizados (RII = 0.433).

Todas as categorias de profissionais foram unânimes ao declarar nunca à raramente presenciar telhados verdes extensivos (RII = 0.148) ou intensivos (RII = 0.079) em João Pessoa. Através de pesquisas na internet, consulta aos entrevistados e consulta a comunidade universitária, foi identificado apenas 1 telhado verde em uma residência familiar na cidade de Conde, parte da grande João Pessoa.

Em áreas densamente urbanizadas, o uso do solo foi modificado quase totalmente de ecossistemas naturais para construções urbanas como ruas, edifícios, entre outros. É estimado que telhados ocupam cerca de 40-50% da área impermeável das cidades (DUNNETT e KINGSBURY, 2004). Nesse cenário, a adaptação das coberturas para telhados verdes (*retrofit*) são tidos como medidas viáveis que agregam múltiplos benefícios para o ciclo da água, fluxo energético, redução da poluição e promoção de biodiversidade (CASTLETON *et al.*, 2010). A viabilidade da adaptação (*retrofit*) depende de características da estrutura de suporte, como o tipo de material, a capacidade de carga estrutural e a inclinação das coberturas (SHAFIQUE *et al.*, 2018). De modo geral, os telhados verdes são indicados para inclinações inferiores a 45° (FLL, 2018). Cerca de metade dos entrevistados (43%) indicaram que 80 a 100% dos seus projetos apresentaram inclinações inferiores a 45°, de modo a indicar o potencial das estruturas existentes receberem telhados verdes em João Pessoa.

Percepção quanto aos serviços ecossistêmicos prestados pelos telhados verdes

Foi investigada a percepção sobre os serviços ecossistêmicos de regulação, provisão e culturais promovidos por telhados verdes. Dentre os serviços de regulação os entrevistados foram questionados sobre a redução do efeito da ilha de calor urbana, da quantidade e qualidade da água dos

escoamentos pluviais, da poluição do ar e dos ruídos, além do favorecimento do sequestro de carbono, da polinização e de habitat para vida selvagem. Em relação aos serviços culturais, foram abordados a melhoria estética, a possibilidade de inspiração mental, espiritual e artística, a oportunidade de espaço de lazer e recreação e o potencial para atividades científicas e educacionais. O único serviço de provisão avaliado foi o potencial para agricultura urbana. Além disso, foi investigado os benefícios indiretos de melhoria da eficiência energética do edifício, melhoria da saúde pública na cidade e agregação de valor para comercialização da propriedade.

Os serviços ecossistêmicos mais relevantes para os entrevistados foram de regulação, principalmente envolvendo conforto térmico na redução do efeito de ilha de calor urbana (RII = 0.876), e conseqüentemente, na melhoria da eficiência energética do edifício (RII = 0.783). Além disso, os serviços de redução do escoamento pluvial (RII = 0.776), melhoria da qualidade do ar (RII = 0.776) e da absorção de ruído (RII = 0.760) também apresentaram relevância média para alta. É possível que a formação mais técnica dos entrevistados favoreça a preferência pelos serviços ecossistêmicos de regulação, visto que estão mais diretamente ligados a aspectos construtivos dos edifícios e/ou podem ser objetivamente mensuráveis.

Os serviços ecossistêmicos culturais que se destacaram foram a melhoria estética (RII = 0.776) e a promoção de inspiração mental, espiritual e artística (RII = 0.762). Apesar de poucos estudos abordarem os benefícios psicológicos dos telhados verdes, efeitos positivos e restauradores estão associados as características de *design* dos telhados, incluindo a sobrevivência da cobertura vegetal, o impacto do calor e do vento no telhado no conforto humano durante visitaçao ao telhado, a existência de dispositivos que favoreçam atividades de restauração e a adaptação dos projetos a questões individuais e locais (WILLIAMS *et al.*, 2019).

O serviço de provisão de alimentos pela agricultura urbana apresentou RII = 0.717, contudo em comparação aos outros serviços foi considerado menos relevante. Com o aumento das iniciativas de agricultura urbana, os telhados verdes tem se tornado uma opção atrativa para produção local de alimentos, especialmente hortaliças e temperos. A composição e profundidade do

substrato, irrigação e tratos culturais determinam a viabilidade de plantio das espécies vegetais (WALTERS e MIDDEN, 2018).

Os serviços relacionados à biodiversidade como polinização (RII = 0.736) não receberam destaque, mesmo entre os engenheiros ambientais que apresentam disciplinas de ecologia na grade curricular dos cursos de graduação. A promoção de habitat para vida selvagem (RII = 0.545) foi o serviço ecossistêmico percebido com menor relevância, possivelmente pela carência de informação sobre ecologia urbana na formação dos engenheiros e arquitetos, além da possibilidade da errônea associação com a proliferação de insetos (HOSSAIN *et al.*, 2019).

O RII relativo às dificuldades e restrições variou de 0.533 a 0.705, demonstrando que as dificuldades atreladas ao tema variam de média à alta. As maiores dificuldades apontadas estão ligadas aos clientes, tendo como principal problema a falta de interesse por parte dos proprietários (RII = 0.705), além da necessidade de manutenção regular (RII = 0.664), possibilidades de ocorrer falhas (RII = 0.657), como vazamentos no telhado e fraco estabelecimento das plantas, e falta de consciência sobre o meio ambiente e sustentabilidade (RII = 0.655), que podem ser razões para o desinteresse.

A segunda maior dificuldade foi a pouca informação técnica disponível sobre o tema (RII = 0.674). Além disso, ainda abordando aspectos técnicos, os entrevistados concordaram que a falta de mão de obra qualificada para instalação é uma dificuldade (RII = 0.645), assim como, a falta de mão de obra para elaborar projetos (RII = 0.588). Visto que foram relatados poucos projetos de telhados verdes em João Pessoa, é esperável que exista uma carência de experiência para execução de projetos e instalações dessas estruturas.

O público concordou com a falta de incentivo do governo para instalação de telhados verdes em construções já existentes (*retrofit*) ou novas (RII = 0.648), mas essa questão não foi um destaque. De modo oposto, com estudos realizados na Malásia, Hong Kong e Estados Unidos apontam esse problema como a principal barreira (BARNHILL e SMARDON, 2012; WONG e LAU, 2013; HOSSAIN *et al.*, 2019). Além disso, a literatura mostra que os casos de maior sucesso na implementação de telhados verdes ocorreram em países que adotaram efetivas políticas públicas, incluindo criação de leis e concessão de benefícios financeiros (LIBERALESSO *et al.*, 2020).

Contudo, um problema recorrente nos países do Sul Global é a existência de leis que não são devidamente regulamentadas devido à carência de informação técnica robusta e regionalizada (VASCONCELOS e BARBASSA, 2021). Na Paraíba, a Lei estadual 10.047 de 2013 indica no Art. 4º a autorização do Poder Executivo a promover cursos e palestras para a divulgação das técnicas imprescindíveis à realização do projeto, além de prever no Art. 5º um futuro detalhamento técnico de sua execução. Contudo, tal regulamentação não existe até o momento.

O aumento do custo do projeto e sua execução (RII = 0.638) não recebeu destaque pelos profissionais, sendo justificável pelo telhado custar uma pequena fração do valor total da obra (ULUBEYLI *et al.*, 2014). O aumento da sobrecarga (carregamento) estrutural (RII = 0.538) e a dificuldade de encontrar materiais específicos em João Pessoa (RII = 0.533) foram apontados como as menores dificuldades.

Quanto à viabilidade da implementação de telhados verdes em João Pessoa, os profissionais apresentaram alta aceitação da tecnologia, de modo que concordaram totalmente que o governo deve promover telhados verdes em João Pessoa (RII = 0.810). Além disso, os entrevistados concordaram que a instalação em edifícios já construídos é viável (RII = 0.669), mediante a adaptação da estrutura já existente através de técnicas de *retrofit*, e que apoiariam a construção de um telhado verde no imóvel onde moram (RII = 0.771). O questionário não aprofundou as perguntas sobre especificidades e condicionantes para aplicações de *retrofit*, contudo técnicas e avaliações de custo-benefício para diferentes tipos de construções já existem e confirmam a viabilidade (CASTLETON *et al.*, 2010; SHAFIQUE *et al.*, 2018).

As principais medidas para melhoria da implantação de telhados verdes apresentaram caráter educacional para a população pela promoção de campanhas de sensibilização sobre tecnologias verdes (RII = 0.776) e para a classe profissional, com a inclusão do tema telhado verde no conteúdo acadêmico dos cursos que envolvem a indústria da construção civil (RII = 0.769). Em 2020, um estudo realizado em João Pessoa constatou que a maior parte dos profissionais da construção civil que estudaram formalmente tecnologias de drenagem urbana sustentável, incluindo telhados verdes, possuem menos de 5

anos de graduado (NOBREGA, 2020). Assim, indicando uma melhoria na familiarização e capacitação desses profissionais com o tema nos últimos anos.

Além disso, os entrevistados concordaram com a criação de manuais e normas técnicas, que apresentou valor de RII próximo aos primeiros classificados (RII = 0.757), apesar da quinta classificação. Alguns trabalhos apontam medidas similares no âmbito educacional para a população e para os profissionais, com o objetivo de ampliar a utilizações de soluções para gestão das águas urbanas, entre elas os telhados verdes, em países do Norte e do Sul Global (GODWIN *et al.*, 2008; GOLDENFUM *et al.*, 2007).

Quanto às medidas de incentivo governamentais, os construtores foram identificados como a classe de maior relevância para receber estímulos, seguido dos proprietários de construções e profissionais/empresas do seguimento. Medidas referentes às legislações e regulamentações receberam menor destaque. Experiências exitosas de fomento de telhados verdes através de políticas públicas são observadas em alguns países do Norte. Nos Estados Unidos, alguns exemplos são a cidade de Nashville que aplica reduções na taxa de esgoto e a cidade de Nova Iorque, que concede crédito fiscal, ambos valores aplicados proporcionais a quantidade de metro quadrado de telhado vegetado instalado. A Alemanha é referência internacional, possuindo telhados verdes instalados em cerca de 100 mil hectares (15% do território alemão). Esse desempenho é resultado de políticas públicas iniciadas desde 1970, atuando nos âmbitos nacionais, regionais e locais (LIBERALESSO *et al.*, 2020). Contudo, a diferença entre os contextos socioculturais e ambientais entre os países do Norte e do Sul Global não permite a simples cópia de modelos internacionais para soluções locais.

No Brasil, assim como em outros países do Sul, apesar de possuir riqueza de recursos naturais e abundância de paisagens, é marcado pela desigualdade social e pela urbanização sem planejamento e sem consciência ambiental, tanto por grupos de baixa renda, quanto por grupos com alto poder aquisitivo. Nesse complexo cenário, o planejamento da cidade, incluindo suas infraestruturas verdes, devem contar com a participação e diálogos entre as partes interessadas, de modo haver uma coprodução sustentável do espaço urbano (CAPUTO *et al.*, 2019).

CONCLUSÃO

O público de profissionais da arquitetura, engenharia ambiental e civil foi diverso, com principal atuação em prédios residenciais e comerciais, com 1 a 2 andares, e informaram estar ligeiramente familiarizados com certificações e selos verdes. Os entrevistados relataram pouca familiaridade com os telhados verdes, além de ínfima procura e oferta pelo serviço em João Pessoa. Contudo demonstraram alta aceitação da tecnologia, inclusive para a aplicação em estruturas já construídas, visto que 43% das construções relatadas apresentarem inclinação susceptível para aplicação de telhados verdes. Dentre as categorias, os arquitetos(as) são os mais atuantes no setor.

Os serviços ecossistêmicos mais relevantes foram de regulação, principalmente relacionados a conforto térmico e ciclo hidrológico, seguidos dos culturais de melhoria estética e promoção de inspiração mental, espiritual e artística. As principais dificuldades apontadas foram a falta de interesse do cliente e a carência de informação técnica disponível, tendo como formas de melhorias atividades de sensibilização da população e inclusão do tema nos currículos universitários. Criação de incentivos governamentais, principalmente para construtores, também são apontados como medidas estimulantes.

Exemplos de países do Norte Global indicam caminhos que precisam ser adaptados ao contexto socioeconômico e ambiental dos países do Sul, como o Brasil. Medidas de caráter educacional, tanto para população, profissionais do setor e construtores, são apontadas como as principais formas de favorecer a aplicação de telhados verdes. Em João Pessoa, a existência de legislação estadual incentivando o uso de telhados verdes é um destaque no Brasil, contudo para efetiva aplicabilidade é necessário haver regulamentação.

REFERÊNCIAS

BARNHILL, K.; SMARDON, R. Research Article: Gaining Ground: Green Infrastructure Attitudes and Perceptions from Stakeholders in Syracuse, New York. *Environmental Practice*, 14(1), 6–16, 2012. doi: 10.1017/s1466046611000470

BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, 61(358), 178-189, 2018. doi:10.1590/0366-69132015613581860

BROWN, T. "Design thinking." *Harv. Bus. Rev.* 86 (6), 84–92, 2008.

CAPUTO, S.; DONOSO, V.; IZAGA, F.; BRITTO, P. The Democracy of Green Infrastructure: Some Examples from Brazil and Europe. *Planning Cities with Nature*, 137–152, 2019. doi:10.1007/978-3-030-01866-5_10

CARTER, T.; KEELER, A. Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management* (87), 350–363, 2008. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.01.024

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*, 42(10), 1582–1591, 2010. doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.004

CIPOLLA, S., MAGLIONICO, M. AND STOJKOV, I. A longterm hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMMS. *Ecological Engineering*, 95, 876–887. 2016;

COLLA, S.R., WILLIS, E., PACKER, L. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae)? *Cities and the Environment*. 2(1): 12-23, 2009.

DASH, D.P., BEHERA, S.R., RAO, D.T., SETHI, N., LOGANATHAN, N. Governance, urbanization, and pollution: A cross-country analysis of global south region, *Cogent Economics & Finance*, 8:1, 2020, DOI: 10.1080/23322039.2020.1742023

DUNNETT N.P., KINGSBURY N. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland (OR): Timber Press, 2004.

DUNNETT, N. Ruderal green roofs. In: *Green roof ecosystems*. Springer, Cham. 233-255, 2015.

FLL. *Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites*. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn, Germany, 2018.

GODWIN, D.; PARRY, B.; BURRIS, F.; CHAN, S.; PUNTON, A. Barriers and opportunities for low impact development: case studies from three Oregon communities. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA, 2008.

GOLDENFUM, J.A.; TASSI, R.; MELLER, A.; ALLASIA, D.G.; SILVEIRA, A.L. Challenges for the sustainable urban stormwater management in developing countries: from basic education to technical and institutional issues. *NOVATECH* 2007, 357-364, 2007.

GONÇALVES, K.S.; MESSIAS, M.C. Ocorrência de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) (Insecta, Diptera, Culicidae) em bromélias, no município do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Brasil). *Biota Neotropica*, 8, 235-237, 2008.

GREEN BUILDING COUNCIL BRAZIL, 2021. url: <http://www.gbcbrazil.org.br/empreendimentos-lead.php>

HAINES-YOUNG R.H., POTSCHIN M.B. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Fabis Consulting Ltd . 2018. url: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>

HOSSAIN, M. A., SHAMS, S., AMIN, M., REZA, M. S., & CHOWDHURY, T. U. (2019). Perception and barriers to implementation of intensive and extensive green roofs in Dhaka, Bangladesh. *Buildings*, 9(4), 79.

IBGE. Censo demográfico brasileiro. 2011.

LIBERALESSO, T.; OLIVEIRA CRUZ, C.; MATOS SILVA, C.; MANSO, M. Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use Policy*, 96, 104693, 2020. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104693

LIKERT R. A technique for the measurements of attitudes. *Archives of psychology*.140(22), 5-55, 1932.

MOCELLIN, M.G.; SIMÕES, T.C.; NASCIMENTO, T.F.S.; TEIXEIRA, M.L.F.; LOUNIBOS, L.P.; OLIVEIRA, R.L. Bromeliad-inhabiting mosquitoes in an urban botanical garden of dengue endemic Rio de Janeiro-Are bromeliads productive habitats for the invasive vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*?. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 104, 1171-1176, 2009. doi: 10.1590/S0074-02762009000800015

NOBREGA, M.C.P. Percepção de engenheiros ambientais, engenheiros civis e arquitetos a respeito da drenagem urbana sustentável. Monografia (Graduação) - Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, Paraíba. 2020.

OLIVEIRA, A. W.; SCHNEIDER, E.; KIM, Y. Curriculum conceptions of technology: Theoretical insights from National Education Policies in Brazil, Korea, and the United States. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2(4), 367–376, 2020. doi: 10.1002/hbe2.204

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. Plano de Ação João Pessoa Sustentável. Relatório Final – Estudo 3 Crescimento Urbano. João Pessoa, 2014. Disponível em: <http://www.joao-pessoa.pb.gov.br/plano-de-acao-sustentavel/>.

RANGEL, A.C.L.C.; ARANHA, K.C.; DA SILVA, M.C. B.C. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 35, 2015. doi: 10.5380/dma.v35i0.39177

SALGADO, M.S. Architecture and sustainability: the role of environmental rating systems - case study in Brazil. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 294, 012059, 2019. doi: 10.1088/1755-1315/294/1/012059

SANTOS, C.L. et al. Análise da Suscetibilidade à Ocorrência de Enchentes e Inundações na Bacia do Rio Jaguaribe – João Pessoa/PB. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.11, n.5, p. 1876 – 1888, 2018.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; RAFIQ, M. Green roof benefits, opportunities and challenges—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 757-773, 2018.

SILVA, L.M.T (coord.) Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de João Pessoa. (e-book). João Pessoa, Prefeitura Municipal, Secretaria de Meio Ambiente, 2012. url: <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semam/plano-municipal-mata-atlantica/>

TANSEL, B. Changing the status quo in environmental engineering education in response to emerging markets. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 134(2), 197-202, 2008.

TODOROFF, E.C.; SHEALY, T.; MILOVANOVIC, J.; GODWIN, A.; PAIGE, F. Comparing Design Thinking Traits between National Samples of Civil Engineering and Architecture Students. Journal of Civil Engineering Education, 147(2), 04020018, 2021. doi:10.1061/(asce)ei.2643-9115.0000037

TONIETTO, R.; FANT, J.; ASCHER, J.; ELLIS, K.; LARKIN, D. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. Landscape and Urban Planning, 103(1), 102–108, 2011. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.07.004

TWS EMPREENDIMENTOS, 2021. url: <https://www.tws-empreendimentos.com.br/empreendimento/tour-geneve/>

ULUBEYLI, S.; KAZAZ, A.; ER, B.; BIRGONUL, M. T. Comparison of Different Roof Types in Housing Projects in Turkey: Cost Analysis. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 119, 20–29, 2014. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.005

VASCONCELOS, A.F.; BARBASSA, A.P. Sustainable urban stormwater management in developing countries: integrating strategies to overcome Brazilian barriers, Urban Water Journal, 2021. doi: 10.1080/1573062X.2021.1969415

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 57, 740-752, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.119

WALTERS, S.; MIDDEN, K. S. Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs. Agriculture, 8(11), 168, 2018. doi: 10.3390/agriculture8110168

WILLIAMS, K. J. H., LEE, K. E., SARGENT, L., JOHNSON, K. A., RAYNER, J., FARRELL, C., MILLER, R. E., WILLIAMS, N. S. G. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126399, 2019. doi:10.1016/j.ufug.2019.126399

Wong, J.K.W.; Lau, L.S.K. From the “urban heat island” to the “green island”? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, 39, 25–35, 2013. doi: 10.1016/j.habitatint.2012.10.005

ZAHIR, M.H.M., RAMAN, S.N., MOHAMED, M.F., JAMILAND, M.; NOPIAH, Z. M. The Perception of Malaysian Architects towards the Implementation of Green Roofs: A Review of Practices, Methodologies and Future Research. *E3S Web of Conferences*, 3, 01022, 2014. doi: 10.1051/e3sconf/20140301022

CONCLUSÃO

Os telhados verdes são apontados como uma das formas de mitigar os problemas decorrentes da urbanização, de modo recuperar parcialmente serviços ecossistêmicos perdidos. Pouco se sabe do desempenho dessa tecnologia em climas tropicais, como a cidade de João Pessoa. O presente estudo investigou a utilização de plantas ruderais nativas como cobertura vegetal em telhados verdes, a influência da paisagem no desenvolvimento das plantas e na guilda de visitantes florais, o desempenho hidrológico e a percepção de profissionais da construção civil sobre a tecnologia.

As plantas ruderais *Richardia grandiflora* e *Tridax procumbes* apresentaram rápido crescimento e abundante floração no período chuvoso, além disso, a estratégia reprodutiva de grande produção de sementes causou a criação de um banco de sementes, que permitiu o repovoamento espontâneo dos telhados verdes após o período seco. A combinação de plantas ruderais com características fisiológicas e com capacidades diferentes em responder às variáveis climáticas pode ser uma excelente estratégia para a composição de telhados verdes mais resilientes e multifuncionais.

A presença de telhados verdes se mostrou importante na atração de polinizadores, sugerindo que podem atuar como nicho suplementar para espécies, principalmente em áreas mais verdes que, em geral, suportam maior diversidade de visitantes florais. No entanto, as variações climáticas causada por diferenças na porcentagem de áreas verdes nos bairros não apresentou magnitude ao ponto de influenciar no desempenho das espécies de cobertura vegetal.

Os telhados verdes apresentaram significativa capacidade de retenção de volumes de chuva, com melhor desempenho para precipitações diárias inferiores a 40 mm/dia. Foi constatada o decréscimo da taxa de retenção causado pelo aumento do volume precipitado e pela condição de dias antecedentes chuvosos. Além disso, o tipo de cobertura vegetal não causou diferenças no desempenho hidrológico. Para precipitações mais intensas (>40 mm), pode ser indicado a integração de outras medidas de controle de escoamento na fonte, como valas, bioretenções e microreservatórios.

Em João Pessoa, os profissionais da construção civil estão pouco familiarizados com telhados verdes, contudo relataram interesse pela tecnologia, sendo os arquitetos os mais atuantes. Os serviços ecossistêmicos destacados pelos profissionais foram de regulação térmica e hidrológica, seguidos de melhoria estética e promoção de inspiração mental, espiritual e artística. As principais dificuldades para implantação dessas estruturas foram a falta de interesse do cliente e a carência de informação técnica disponível, tendo como possíveis soluções a adoção de medidas de caráter educacional tanto para população, quando para a classe de profissionais. Apesar de João Pessoa contar com legislação estadual incentivando o uso de telhados verdes, para efetiva aplicabilidade é necessário haver regulamentação.

Estudos experimentais e interdisciplinares com telhados verdes podem contribuir com a disseminação dessa tecnologia pela descoberta de resultados práticos e regionalizados. Atrelado a isso, estudos de percepção ajudam a entender as dinâmicas sociais existentes que vão além do refinamento técnico. No geral, mediante a adaptação técnica diante as condições climáticas locais e com a aplicação estímulos estratégicos direcionados a aspectos sociais e econômicos, os telhados verdes apresentam potencial para ser uma tecnologia amplamente difundida em João Pessoa.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Dados brutos do monitoramento hidrológico (CAPITULO 3)

| Data | Precipitação diária (mm) | Número de dias secos anteriores | Vol. precipitado (L) | Vol. escoado (L) | Vol. retido (L) | Retenção (%) |
|----------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|--------------|
| 1/08/21 | 4 | 0 | 1.79 | 0.55 | 1.24 | 69.34 |
| 2/08/21 | 0.5 | 0 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 3/08/21 | 18 | 0 | 8.07 | 4.60 | 3.47 | 43.02 |
| 4/08/21 | 5 | 0 | 2.24 | 0.95 | 1.29 | 57.64 |
| 7/08/21 | 2 | 2 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 8/08/21 | 2 | 0 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 9/08/21 | 2 | 0 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 10/08/21 | 51 | 0 | 22.87 | 20.40 | 2.47 | 10.81 |
| 11/08/21 | 32 | 0 | 14.35 | 11.50 | 2.85 | 19.87 |
| 12/08/21 | 18 | 0 | 8.07 | 6.85 | 1.22 | 15.15 |
| 20/08/21 | 0.5 | 0 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 22/08/21 | 0.5 | 1 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 23/08/21 | 5 | 0 | 2.24 | 0.00 | 2.24 | 100.00 |
| 24/08/21 | 2 | 0 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 25/08/21 | 0.5 | 0 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 29/08/21 | 46 | 3 | 20.63 | 13.55 | 7.08 | 34.32 |
| 31/08/21 | 2 | 1 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 1/09/21 | 3 | 0 | 1.35 | 0.05 | 1.30 | 96.28 |
| 2/09/21 | 4 | 0 | 1.79 | 0.00 | 1.79 | 100.00 |
| 7/09/21 | 1 | 4 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 10/09/21 | 0.5 | 2 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 12/09/21 | 2 | 1 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 13/09/21 | 1 | 0 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 16/09/21 | 3 | 3 | 1.35 | 0.00 | 1.35 | 100.00 |
| 22/09/21 | 0.5 | 5 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 24/09/21 | 1 | 1 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 25/09/21 | 6 | 0 | 2.69 | 0.05 | 2.64 | 98.14 |
| 26/09/21 | 0.5 | 0 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 27/09/21 | 1 | 0 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 10/10/21 | 26 | 12 | 11.66 | 1.45 | 10.21 | 87.57 |
| 13/10/21 | 7 | 2 | 3.14 | 0.00 | 3.14 | 100.00 |
| 19/10/21 | 1.5 | 5 | 0.67 | 0.00 | 0.67 | 100.00 |
| 23/10/21 | 0.5 | 3 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 24/10/21 | 5 | 0 | 2.24 | 0.00 | 2.24 | 100.00 |
| 25/10/21 | 4.5 | 0 | 2.02 | 0.00 | 2.02 | 100.00 |

| | | | | | | |
|----------|-----|----|-------|-------|-------|--------|
| 30/10/21 | 1 | 4 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 7/11/21 | 1 | 7 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 8/11/21 | 1 | 0 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 9/11/21 | 6 | 0 | 2.69 | 0.15 | 2.54 | 94.43 |
| 16/11/21 | 5 | 7 | 2.24 | 0.00 | 2.24 | 100.00 |
| 7/12/21 | 6 | 21 | 2.69 | 0.00 | 2.69 | 100.00 |
| 20/12/21 | 2 | 12 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 21/12/21 | 2 | 0 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 22/12/21 | 3 | 0 | 1.35 | 0.05 | 1.30 | 96.28 |
| 28/12/21 | 10 | 6 | 4.49 | 0.70 | 3.79 | 84.45 |
| 6/01/22 | 38 | 7 | 17.04 | 7.65 | 9.39 | 55.11 |
| 9/01/22 | 3 | 3 | 1.35 | 0.00 | 1.35 | 100.00 |
| 12/01/22 | 13 | 0 | 3.14 | 0.05 | 3.09 | 98.41 |
| 13/01/22 | 7 | 0 | 3.14 | 0.40 | 2.74 | 87.26 |
| 12/02/22 | 2 | 7 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 18/02/22 | 10 | 5 | 4.49 | 0.10 | 4.39 | 97.85 |
| 20/02/22 | 1 | 1 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 22/02/22 | 1 | 1 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 23/02/22 | 3 | 0 | 1.57 | 0.00 | 1.57 | 100.00 |
| 4/03/22 | 15 | 9 | 6.73 | 0.30 | 6.43 | 95.54 |
| 5/03/22 | 44 | 0 | 19.73 | 12.25 | 7.48 | 37.92 |
| 6/03/22 | 11 | 0 | 4.93 | 3.75 | 1.18 | 23.99 |
| 9/03/22 | 5 | 3 | 2.24 | 0.00 | 2.24 | 100.00 |
| 12/03/22 | 1 | 2 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 13/03/22 | 1 | 0 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 14/03/22 | 3 | 0 | 1.35 | 0.00 | 1.35 | 100.00 |
| 15/03/22 | 4 | 0 | 1.79 | 0.00 | 1.79 | 100.00 |
| 16/03/22 | 6 | 0 | 2.69 | 0.00 | 2.69 | 100.00 |
| 17/03/22 | 1 | 0 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 18/03/22 | 1 | 0 | 0.45 | 0.00 | 0.45 | 100.00 |
| 20/03/22 | 15 | 2 | 6.73 | 0.15 | 6.58 | 97.77 |
| 22/03/22 | 48 | 0 | 21.53 | 17.50 | 4.03 | 18.73 |
| 23/03/22 | 68 | 0 | 30.50 | 30.00 | 0.50 | 1.63 |
| 25/03/22 | 17 | 1 | 7.62 | 5.85 | 1.77 | 23.27 |
| 26/03/22 | 14 | 0 | 6.28 | 5.50 | 0.78 | 12.41 |
| 3/04/22 | 48 | 6 | 21.53 | 13.05 | 8.48 | 39.38 |
| 4/04/22 | 35 | 0 | 15.70 | 15.70 | 0.00 | -0.02 |
| 5/04/22 | 3 | 0 | 1.35 | 0.15 | 1.20 | 88.85 |
| 9/04/22 | 7 | 3 | 3.14 | 0.00 | 3.14 | 100.00 |
| 18/04/22 | 0.5 | 8 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 20/04/22 | 35 | 1 | 15.70 | 2.35 | 13.35 | 85.03 |
| 21/04/22 | 2 | 0 | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 100.00 |
| 22/04/22 | 24 | 0 | 10.76 | 7.05 | 3.71 | 34.50 |
| 24/04/22 | 35 | 1 | 15.70 | 5.15 | 10.55 | 67.19 |
| 25/04/22 | 7 | 0 | 3.14 | 1.05 | 2.09 | 66.56 |

| | | | | | | |
|----------|-----|---|-------|-------|------|--------|
| 26/04/22 | 13 | 0 | 5.83 | 1.70 | 4.13 | 70.84 |
| 29/04/22 | 8 | 1 | 3.59 | 1.00 | 2.59 | 72.13 |
| 4/05/22 | 39 | 4 | 17.49 | 12.20 | 5.29 | 30.25 |
| 6/05/22 | 48 | 1 | 21.53 | 21.25 | 0.28 | 1.29 |
| 9/05/22 | 6 | 2 | 2.69 | 0.65 | 2.04 | 75.85 |
| 10/05/22 | 0.5 | 0 | 0.22 | 0.00 | 0.22 | 100.00 |
| 11/05/22 | 9 | 0 | 4.04 | 0.95 | 3.09 | 76.46 |
| 12/05/22 | 2 | 0 | 0.90 | 0.05 | 0.85 | 94.43 |
| 13/05/22 | 10 | 0 | 4.49 | 2.15 | 2.34 | 52.06 |
| 14/05/22 | 9 | 0 | 4.04 | 1.55 | 2.49 | 61.60 |
| 15/05/22 | 5 | 0 | 2.24 | 1.85 | 0.39 | 17.50 |

APÊNDICE 2 – Questionário (CAPITULO 4)

Termo de consentimento:

Esta pesquisa intitulada “**Serviços ecossistêmicos do telhado verde: Regulação do ciclo hidrológico e manutenção da biodiversidade urbana**” tem o objetivo de avaliar o desenvolvimento de espécies ruderais nativas em telhado verde extensivo; avaliar o efeito na atração de polinizadores e a influência da proximidade de remanescentes florestais; investigar a capacidade de redução de escoamento superficial; e investigar a percepção dos profissionais de construção em relação ao papel dos telhados verdes, a aplicabilidade e aos serviços ecossistêmicos proporcionados. A pesquisa está sendo desenvolvido sob supervisão do mestrando **Ely Ewerton Amorim Lopes**, sob a orientação da **Profa. Denise Dias da Cruz** do Departamento de Sistemática e Ecologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

A finalidade deste trabalho é contribuir com a geração de dados sobre o uso de plantas nativas espontâneas em telhados verdes, averiguar os benefícios de manutenção de polinizadores e redução do escoamento superficial, entender a percepção dos profissionais de construção.

Solicitamos a sua colaboração pela participação nessas entrevistas (levará em torno de 8 minutos), assim como sua autorização utilização dos dados, que serão apresentados em eventos científicos e/ ou publicados em revista científica. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo.

Sinta-se à vontade para enviar para outros colegas engenheiros/ arquitetos, ajudando a aumentar nossa rede de colaboradores nessa pesquisa.

Informamos que essa pesquisa não oferece riscos previsíveis para a sua saúde. Ressaltamos que esta pesquisa NÃO TEM ENFOQUE FISCALIZADOR.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso se sinta constrangido, cansado ou tenha qualquer desconforto com as perguntas, pode desistir da participação. Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir

do mesmo, não sofrerá nenhum dano. Os pesquisadores estarão à sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor ligar para o (a) pesquisador (a) Prof.^a Dr.^a Denise Dias da Cruz. Endereço (Setor de Trabalho): Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Departamento de Sistemática e Ecologia, Campus I - Cidade Universitária, CEP: 58059-900 - João Pessoa/ PB, E-mail: denidcruz@dse.ufpb.br, Tel.: 3216-7763

Ou

Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba Campus I - Cidade Universitária - 1º Andar – CEP 58051-900 – João Pessoa/PB, (83) 3216-7791 – E-mail: eticaccsufpb@hotmail.com

Referências:

HOSSAIN, M.A., SHAMS, S., AMIN, M., REZA, M.S.; CHOWDHURY, T.U. Perception and barriers to implementation of intensive and extensive green roofs in Dhaka, Bangladesh. *Buildings*, 9(4), 79, 2019. doi: 10.3390/buildings9040079

RANGEL, A.C.L.C., ARANHA, K.C., SILVA, M.C.B.C. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para sustentabilidade. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 35, 397-409, 2015. doi: 10.5380/dma.v35i0.39177

SHAFIQUE, M., KIM, R., RAFIQ, M. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.006

Diante do exposto, declaro que fui devidamente esclarecido(a) e dou o meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia desse documento.

Sim

IDENTIFICAÇÃO DOS PROFISSIONAIS DA CONSTRUÇÃO

1. Qual é a sua profissão?

Arquiteto

Engenheiro Ambiental

Engenheiro Civil

2. Qual é a sua naturalidade (cidade/estado)? _____

3. Se estudou ou trabalhou fora de João Pessoa, por favor, informe o estado: _____

4. Se estudou ou trabalhou fora do Brasil, por favor, informe o país:

5. Em qual (is) setor (es) você trabalha?

Público

Privado

Terceiro setor

6. Há quanto tempo você está nesta profissão?

0–5 anos

6–15 anos

16–25 anos

25+ anos

7. Em quantos projetos de construções você se envolveu?

0–3

4–6

7–10

10+

8. Entre eles, por favor, marque os tipos de edifícios que você trabalhou:

com 1–2 andares

com 3–5 andares

> 5 andares

Residencial

Comercial

Governamental

Hospital

Educacional

Outro: _____

9. Entre eles, qual a porcentagem de edifícios apresenta inclinação do telhado inferior a 45 graus?

0-20%

20-40%

40-60%

60-80%

80-100%

Não se aplica

10. Na sua atuação profissional você é familiarizado com selos, qualificações ou certificações verdes?

Nada familiar

Ligeiramente familiar

Um pouco familiar
Moderadamente familiar
Muito familiar

11. Marque os selos, qualificações e certificações verdes com as quais você já trabalhou?

Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal

Selo PROCEL Edifica

AQUA (Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento)

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

Qualiverde da Prefeitura do Rio de Janeiro

Outros: _____

PERCEPÇÃO SOBRE TELHADOS VERDES

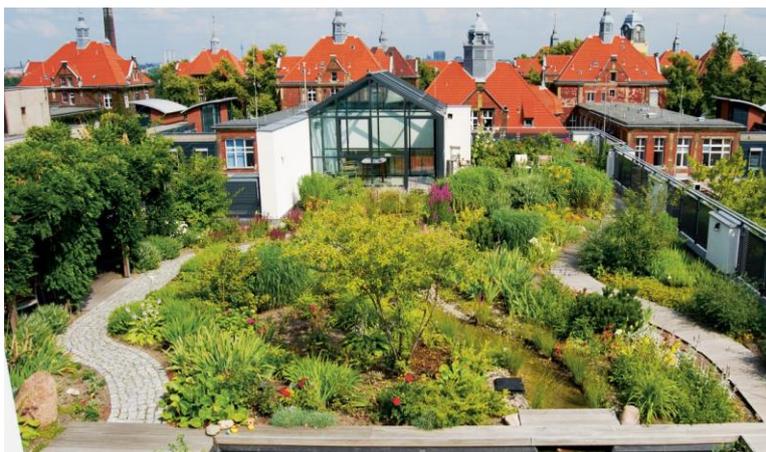
Os dois principais tipos de telhados verdes são os extensivos e intensivos.

- Os telhados verdes extensivos apresentam substrato entre 2 e 15 cm, requerem pouca manutenção, podem haver irrigação ou não, e comportam tipos vegetais tolerantes a estresse e com alta capacidade de regeneração e propagação, como suculentas, ervas e gramíneas.



Fonte: <https://efb-greenroof.eu/work/extensive-green-roof-portugal/>

- Os telhados verdes intensivos possuem substrato entre 15-200 cm, podendo ser projetados com variações de profundidade, requerem manutenção equivalente a um jardim, incluindo irrigação, fertilização, poda e capina, e comportam maior diversidade de plantas como gramíneas, ervas perenes, arbustos e árvores menores.



Fonte: <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/green-roofs/intensive-green-roofs/>

12. Você está familiarizado com esses tipos de telhados verdes? 1: Nada familiar, 2: Ligeiramente familiar, 3: Um pouco familiar, 4: Moderadamente familiar, 5: Muito familiar

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Telhado verde extensivo | | | | | |
| Telhado verde intensivo | | | | | |

13. Com que frequência você vê essas estruturas em João Pessoa? 1: Nunca, 2: Raramente, 3: As vezes, 4: Frequentemente, 5: Sempre

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Telhado verde extensivo | | | | | |
| Telhado verde intensivo | | | | | |

14. Seus clientes já perguntaram sobre telhados verdes?

Sim

Não

Não sei

15. Você já sugeriu o uso de telhados verdes para clientes?

Sim

Não

16. Você já desenvolveu algum projeto com telhado verde?

Sim

Não

17. Conhece algum profissional/empresa em João Pessoa que trabalha com telhados verdes?

Sim

Não

18. Você conhece a Lei Estadual 10.047 de 2013 que regulamenta sobre telhados verdes em João Pessoa?

Sim

Não

Os serviços ecossistêmicos representam os benefícios que as populações humanas derivam, direta ou indiretamente, das funções do ecossistema, sendo classificados em três grupos: Provisão, Regulação e Culturais.

19. Qual a relevância dos seguintes benefícios/serviços ecossistêmicos relacionados aos telhados verdes? Grau de relevância variando de 1: menos relevante a 5: mais relevante

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|
| Reduz a quantidade (volume e vazão) dos escoamentos pluviais | | | | | |
| Melhora a qualidade da água de escoamentos pluviais | | | | | |
| Melhora a qualidade do ar | | | | | |
| Promove sequestro de carbono da atmosfera | | | | | |
| Promove habitat para vida selvagem | | | | | |
| Favorece a polinização pela presença de flores | | | | | |
| Reduz o efeito da ilha de calor urbana | | | | | |
| Melhora a eficiência energética do edifício | | | | | |
| Melhora a absorção de ruído | | | | | |
| Melhora a saúde pública na cidade | | | | | |
| Melhoria da estética | | | | | |
| Agrega valor / comercialização da propriedade | | | | | |
| Oportunidade de espaço de lazer e recreação | | | | | |
| Inspiração mental, espiritual e artística | | | | | |
| Potencial para atividades científicas e educacionais | | | | | |
| Potencial para agricultura urbana | | | | | |

20. Quais pontos representam dificuldades ou restrições na implementação de telhados verdes em João Pessoa.

1: Discordo totalmente, 2: Discordo, 3: Concordo parcialmente, 4: Concordo, 5: Concordo totalmente, N: não tenho conhecimento sobre o tema

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Falta de consciência sobre o meio ambiente e sustentabilidade | | | | | | |
| Falta de interesse do proprietário / cliente | | | | | | |
| Pouca informação técnica disponível | | | | | | |
| Falta de mão de obra qualificada para elaborar projetos | | | | | | |
| Falta de mão de obra qualificada para instalação | | | | | | |
| Dificuldade de encontrar materiais específicos em João Pessoa | | | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Aumento no custo de projeto e execução da obra | | | | | | |
| Necessidade de manutenção regular, podendo ser similar a um jardim | | | | | | |
| Falta de incentivo do governo aos profissionais da construção nessa área | | | | | | |
| Falta de incentivo do governo aos proprietários de construções já existentes para adaptar telhados verdes as estruturas (retrofit) | | | | | | |
| Possibilidades de falhas (ex: vazamento no telhado, fraco estabelecimento das plantas) | | | | | | |
| Aumento da sobrecarga (carregamento) estrutural | | | | | | |

21. Sobre viabilidade de telhado verde:

1: Discordo totalmente, 2: Discordo, 3: Concordo parcialmente, 4: Concordo, 5: Concordo totalmente

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|
| Você acha que o governo deve promover telhados verdes na cidade de João Pessoa por meio de incentivos diretos e indiretos? | | | | | |
| Você acha que os telhados verdes são viáveis para implementação em edifícios já existentes por meio de adaptação a estrutura - retrofit? | | | | | |
| Você apoiaria a construção de um telhado verde no prédio ou casa onde você mora? | | | | | |

22. Quais medidas podem melhorar a implementação de sistemas de telhado verde para edifícios novos e existentes em João Pessoa?

1: Discordo totalmente, 2: Discordo, 3: Concordo parcialmente, 4: Concordo, 5: Concordo totalmente

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Promoção de campanhas educativas promovendo a sensibilização da população sobre tecnologias verdes, incluindo telhado verde, parede verde, captação de água de chuva, biorretenção, entre outras. | | | | | |
| Incluir telhado verde no conteúdo acadêmico dos cursos que envolvem a indústria da construção. | | | | | |
| Criar incentivos diretos do governo para os profissionais/empresas da construção nessa área, tais como subsídios e subvenções. | | | | | |
| Conferir benefícios para construtores que aplicam telhado verde em construções, como redução de taxas de licença e celeridade no processo. | | | | | |
| Criar incentivos fiscais para os proprietários de edifícios que possuam telhados verdes, como a redução de taxas e impostos (ex: desconto parcial no IPTU proporcional a área de telhado verde). | | | | | |
| Criação de legislação para garantir a obrigatoriedade da manutenção de porcentagem de espaço verde no lote. | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| Criação de legislação específica para regulamentar a implantação de telhados verdes, visando alterações ao Código de Obras e Edificações dos municípios quando necessário. | | | | | |
| Criação de regulamento para a drenagem de águas pluviais que incluísse a aplicação de medidas de retenção de escoamento dentro dos lotes, incluindo telhados verdes (ex: Plano Diretor de Drenagem Urbana) | | | | | |
| Criação de manuais e normas técnicas para construção de telhados verdes nas diferentes zonas climáticas brasileiras | | | | | |

23. Por gentileza, escreva abaixo comentários que achar pertinente:

24. Se deseja receber os resultados da pesquisa, por favor, deixe seu e-mail abaixo: _____