



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

ENG. CIVIL MATHEUS MARINHO MUNHOS

**ECO-TELHADOS: EFEITO DAS VARIAÇÕES DE FORMAS E MATERIAIS NA
TEMPERATURA, VOLUME E CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DA CHUVA**

Sorocaba
2023

ENG. CIVIL MATHEUS MARINHO MUNHOS

**ECO-TELHADOS: EFEITO DAS VARIAÇÕES DE FORMAS E MATERIAIS NA
TEMPERATURA, VOLUME E CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DA CHUVA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Assoc. Alexandre Marco da Silva

Sorocaba
2023



Munhos, Matheus Marinho.

Eco-telhados: efeito das variações de formas e materiais na temperatura, volume e características da água da chuva / Matheus Marinho Munhos, 2023
58 f. : il., tabs., fotos

Orientadora: Alexandre Marco da Silva

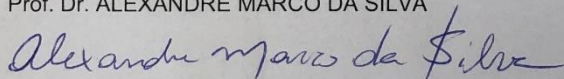
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2023

1. Cobertura Vegetal. 2. Conforto Térmico. 3. Drenagem Urbana. 4. Telhados Ecológicos. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MATHEUS MARINHO MUNHOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 20 dias do mês de outubro do ano de 2023, às 09:00 horas, no(a) Auditório do Bloco A - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba - UNESP, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MATHEUS MARINHO MUNHOS, intitulada **ECO-TELHADOS: EFEITO DAS VARIAÇÕES DE FORMAS E MATERIAIS NA TEMPERATURA, VOLUME E QUALIDADE DE ÁGUA DA CHUVA E FORMAÇÃO DE SUBSTRATO PARA FIXAÇÃO DE PLANTAS..** A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Prof^ª. Dr^ª. MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES SILVA (Participação Presencial) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia Câmpus de Sorocaba Unesp, Prof^ª. Dr^ª. RAQUEL CARNIVALLE SILVA MELILLO (Participação Presencial) do(a) Faculdade de Engenharia / Centro Universitário Padre Anchieta. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA



PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

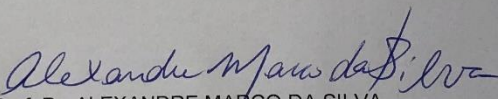
A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO: **MATHEUS MARINHO MUNHOS**

DE: "ECO-TELHADOS: EFEITO DAS VARIAÇÕES DE FORMAS E MATERIAIS NA TEMPERATURA, VOLUME E QUALIDADE DE ÁGUA DA CHUVA E FORMAÇÃO DE SUBSTRATO PARA FIXAÇÃO DE PLANTAS"

PARA:

ECO-TELHADOS: EFEITO DAS VARIAÇÕES DE FORMAS E MATERIAIS NA TEMPERATURA, VOLUME E CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DA CHUVA

Bauru, 20 de outubro de 2023.


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Criador. Ele que me fascina e me intriga com seus mistérios e vastidões inconcebíveis, que é o objetivo supremo de meu estudo: descobrir como Ele arquitetou as operações desse ecossistema e como utilizá-las para o bem da humanidade. Por graça d'Ele pude viver e conquistar um espaço na Unesp, universidade que muito estimo. Portanto ao Criador meu primeiro agradecimento e real apreço inenarrável, agradeço pedindo que Ele permaneça cuidando de mim, ouvindo minhas preces e atendendo-as.

Em segundo lugar agradeço aos meus familiares que me incentivaram a percorrer esse trajeto que me permitirá futuramente compartilhar meu conhecimento com autoridade e título. Em especial aos mais próximos, meu pai Airton Tadeu Barros Munhos, à minha mãe Sonia Piaya Marinho Munhos e irmã Ana Beatriz Marinho Munhos, pois lutamos uns pelos outros e é por eles que busco prosperar.

Agradeço também ao meu orientador, pois me acolheu em um projeto de pesquisa nobre, que, por coincidência, outrora eu tinha tentado empreender por si mesmo. Além disso, sempre foi muito presente e companheiro para tratar de diversos assuntos, tanto que em certos momentos o vi como amigo, além de conselheiro e orientador.

Agradeço muitíssimo ao corpo de funcionários da Unesp, e à própria Unesp em si, pelas experiências boas que tive, pelas pessoas que conheci, pois sempre foram gentis e atenciosos nos atendimentos que precisei, sempre solícitos e dispostos a entender minha situação e esclarecer minhas dúvidas de forma relevante e séria. A eles todos, que muitas vezes em anonimato, criam um ambiente de estudo propício ao desenvolvimento acadêmico, meu muito obrigado. Agradeço aos professores da Uniso que me ampararam durante o processo, me acolhendo e me abrindo um espaço necessário para que eu conquistasse requisitos de atividades complementares.

Também agradeço muito à CAPES que me forneceu bolsa de estudos, pois sem essa bolsa, logo em época pós-covid, minha vida não seria a mesma. Meu muito obrigado pela bolsa e pelo incentivo à ciência que provê ao país.

Ademais, agradeço àqueles cientistas que também pesquisaram formas mais sustentáveis de urbanização e desenvolvimento predial, em particular aos pesquisadores da Unesp, universidade muito prestigiada que tive a honra de cursar.

ECO-TELHADOS: EFEITO DAS VARIAÇÕES DE FORMAS E MATERIAIS NA TEMPERATURA, VOLUME E CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DA CHUVA

Candidato: Eng Civil Matheus Marinho Munhos.

Orientador: Prof Assoc Alexandre Marco da Silva.

RESUMO

O aumento da ocupação em centros urbanos em conjunto com as mudanças climáticas e o entupimento de aparelhos de drenagem tem gerado em diversas cidades alagamentos e danos à comunidade. A cobertura vegetal em telhados aparece nesse contexto como parte da solução a esse problema. Esta pesquisa avaliou três diferentes tópicos relacionados a telhados, sendo eles: (I) como a disposição de telhados de fibrocimento pode afetar o controle do escoamento superficial e a qualidade da água, as diferenças de temperatura em 3 tipos de cobertura, e o crescimento espontâneo em cada uma delas. (II) como a cobertura vegetal com capuchinha influencia a qualidade da água e no conforto térmico, se comparada à superfície com apenas substrato. (III) A viabilidade de germinação de sementes em telhados com substratos. O experimento foi dividido em três fases. Na primeira fase foram testados três tipos de protótipos em telhados de fibrocimento, na segunda e na terceira, dois tipos de telhados, com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal, mas com substrato. Os dados foram organizados em planilha e submetidos a análises estatísticas descritivas. No primeiro subprojeto concluiu-se que o crescimento espontâneo não ocorreu, e que a disposição da telha influencia na capacidade de redução do escoamento superficial. Na segunda concluiu-se que as plantas necessitam de regas frequentes, e que a capuchinha não se desenvolve plenamente em camadas finas de substrato, porém contribui ao conforto térmico. Houve em média 6,8% de redução nos valores de temperatura dentro do substrato no subprojeto II por ocasião da vegetação, enquanto para a temperatura na superfície os valores de temperatura foram em média 11,7% menores para os protótipos com cobertura vegetal. No terceiro subprojeto concluiu-se que a germinação de sementes nos telhados não se mostrou satisfatória para obter resultados significativos de variância entre a vegetação e a superfície sem vegetação.

Palavras-chave: Cobertura Vegetal, Conforto Térmico, Drenagem Urbana, Telhados Ecológicos.

ECO-ROOFS: EFFECT OF VARIATIONS IN SHAPES AND MATERIALS ON THE TEMPERATURE, VOLUME AND CHARACTERISTICS OF RAINWATER

Candidate: Civil Engineer Matheus Marinho Munhos.

Advisor: Associate Professor Alexandre Marco da Silva.

ABSTRACT

The population growth in urban settlements together with the climate changes and the clogging of urban drainage systems has been affecting many cities with floods and damage to communities. The vegetation layer in roofs seems to be a good solution to minimize this problem. By this research we assessed three different topics related to rooftops: (I) how the disposition of fiber cement roofs can affect runoff control and water quality, the differences between the temperature in three types of tiles, and the spontaneous growth in each of them. (II) how nasturtium plants, once used as a cover, influences the water quality and thermal comfort. (III) the viability and feasibility of germination of seeds in the roofs with substrate. We considered three subprojects. In the first subproject we tested three prototypes of fiber cement tiles, in the second and third two types of coverings, with vegetation surface or with substrate surface respectively. We organized the data in spreadsheets for descriptive statistical analyses. In the first subproject we concluded that spontaneous grow did not happen during the timespan of the experiment, and that the disposition of the tiles influences in the capacity of runoff reduction. In the second we concluded that plants need frequent watering, and that nasturtium does not develop plentifully in slim layers of substrate, but contributes to thermal comfort, inside buildings. There was an average of 6.8% reduction in the temperature values in the substrates in subproject II due to presence of the vegetation, while for the temperature on the surface the temperature values were, on average, 11.7% lower for the prototypes with vegetation cover. In the third subproject, we concluded that germination of the seeds directly in the roofs does not present satisfactory results for variance between prototypes with vegetation and only substrate cover.

Keywords: Ecological roofs, Thermal Comfort, Urban Drainage, Vegetal Cover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Número de horas sob sensações de estresse térmico.....	11
Figura 3.2 – Temperaturas superficiais internas de diferentes coberturas.....	12
Figura 3.3 – Telhado verde visto em corte.....	17
Figura 3.4 – Jardim ornamental de <i>T. majus</i>	20
Figura 4.1 – Localização da área onde foram conduzidos os experimentos, no Instituto de Ciência e Tecnologia – Campus Sorocaba – Unesp (círculo amarelo)	22
Figura 4.2 – Disposição dos protótipos	23
Figura 4.3 – Ilustração da posição das peças conforme cada condição experimental.....	24
Figura 4.4 – Ilustração da bandeja de sementeira (esquerda) e do processo de germinação da capuchinha em tubetes (direita).....	26
Figura 4.5 – Exemplificação da posição das sementes.....	28
Figura 5.1 – Temperatura ambiente e média nos grupos de telhas.....	29
Figura 5.2 – Alturas de chuva por protótipo.....	30
Figura 5.3 – Mililitros de água acumulada nos reservatórios dos protótipos.....	31
Figura 5.4 – Altura de chuva com linhas de condutividade elétrica.....	32
Figura 5.5 – Variação dos valores de condutividade elétrica nas amostras coletadas no período do experimento	32
Figura 5.6 – Ilustração das Capuchinhas com folhas amareladas.....	35
Figura 5.7 – Temperatura média da base dos experimentos.....	36
Figura 5.8 – Temperatura do substrato dos experimentos.....	36
Figura 5.9 – Temperaturas médias do ar de três coberturas.....	37
Figura 5.10 – Condutividade elétrica das amostras de água coletadas ao longo do experimento.....	37
Figura 5.11 – Altura de chuva em milímetros.....	38
Figura 5.12 – Mililitros de chuva.....	39
Figura 5.13 – Porcentagem de retenção de água com linha de milímetros de chuva.....	40
Figura 5.14 – Altura de chuva com linha de porcentagem de retenção.....	40
Figura 5.15 – Germinação espontânea de novas espécies.....	41
Figura 5.16 – Altura de chuva no subprojeto 3.....	41
Figura 5.17 – Mililitros de chuva no subprojeto 3.....	42
Figura 5.18 – Porcentagem de retenção de água com linha de milímetros de chuva.....	42
Figura 5.19 – Condutividade elétrica.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação das telhas de fibrocimento.....	15
Tabela 5.1 – Valores de cada parâmetro analisado nas amostras de solo coletadas antes e depois do período experimental.....	33
Tabela 5.2 – Descrição das variações observadas nas amostras de solo em relação ao valor registrado na fase pré experimental.....	34
Tabela 5.3 – Volume de chuva em altura (milímetros).....	39

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABELAS	4
SUMÁRIO	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
4. MATERIAIS E MÉTODO	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	55

1. INTRODUÇÃO

Em razão das mudanças climáticas e de processos que caracterizam a degradação ambiental – como por exemplo os desmatamentos, a poluição do ar e das águas, a elevação das temperaturas em decorrência das ilhas de calor, a redução de áreas permeáveis - cada vez mais busca-se desenvolver maneiras de diminuir os efeitos dos problemas relacionados ao aquecimento global. Muitos países estão buscando medidas de desenvolvimento urbano de baixo impacto que ajudem na gestão das águas pluviais (POUR *et al.*, 2020). Na China, já se fala em cidades esponja – que servem para absorver e drenar grandes volumes de água da chuva (WANG *et al.*, 2021). Diante dessa realidade é preciso estudar formas de mitigar os impactos ambientais decorrentes da urbanização e avaliar quais melhorias podem ser implementadas. Um dos locais onde essas melhorias podem ser implementadas são os telhados, já que abrangem grande parte da superfície urbana disponível (ABASS *et al.*, 2020).

Além dos efeitos que já são sentidos no clima e em casos de chuvas intensas, o cenário global do desenvolvimento sustentável pede por medidas cada vez mais ecológicas e acessíveis socialmente. Oreskes (2003) e Cook *et al.* (2013) apud Pivaro *et al.* (2020) afirmam que as mudanças climáticas são uma realidade para a comunidade científica e 97% das publicações a respeito disso concluem que a origem desses problemas advém dos usos antrópicos. No Brasil grande parte da água que é tratada para consumo humano é utilizada para tarefas que dispensam a potabilidade, como limpeza de residências, descargas em sanitários, jardinagem e outros. Esses usos podem gerar menos desperdício através da sua captação e retenção em sistemas que utilizem a superfície dos telhados, causando a diminuição do volume de água que é escoado para jusante em sistemas de drenagem urbana convencional, bem como pela sua capacidade de não ocupar espaço/terreno urbano. Os telhados verdes são vistos como alternativas de ganha-ganha no alívio do escoamento superficial e nas ilhas de calor (TAN; WANG, 2023).

Além dos efeitos de melhora da sensação térmica no interior das casas através da fotossíntese feita pela vegetação em telhados verdes, a diminuição da temperatura pode ser estendida ao nível dos pedestres (ZHENG *et al.*, 2023) e a coleta e reuso da água da chuva também é uma possibilidade a ser inserida em sistemas de telhados ecológicos. As coletas de água da chuva favorecem conexões humanas e ambientais que mutuamente reforçam o conceito de saneamento da população urbana, difundindo percepções com maior consciência ambiental para mais pessoas.

O arrefecimento da temperatura interna em ambientes fechados por meio de novas tecnologias de construção civil ligadas à cobertura é uma vantagem do desenvolvimento sustentável que tem recebido atenção crescente porquanto são desenvolvidas maneiras de fazer com que os telhados forneçam mais conforto térmico, economia de energia, diminuição da velocidade de escoamento da água e eficiência em prover abrigo. O telhado de fibrocimento promove um rápido escoamento da água e pouca proteção térmica por si mesmo e, portanto, não contribui no combate aos alagamentos nem na economia de energia despendida para conforto térmico, porém, através de um estudo sobre as maneiras de disposição do telhado e inclusão de vegetação nas superfícies, pode-se alcançar resultados que apresentem indícios de viabilidade de seu uso de diferentes formas além de sua disposição mais difundida (SANTOS, 2019).

Além das situações expostas acima, a redução de áreas permeáveis é crescente em diversas cidades (MA *et al.*, 2022). A severidade das chuvas de alta intensidade em áreas urbanas tem gerado cada vez mais

alagamentos (POUR *et al.*, 2020). Esses fatos, em conjunto com o entupimento de canalizações pelos resíduos sólidos e os picos de vazão são fatores determinantes no acontecimento de alagamentos. A forma de urbanização brasileira apresenta pouca área permeável em centros urbanos, dificultando a infiltração da água da chuva em áreas vastas que contribuem para o acontecimento de alagamentos (TUCCI, 1997 apud SANTOS, 2019).

Os telhados podem ter um efeito positivo ou negativo no clima. Por um lado, telhados feitos de materiais de alta refletividade, como telhados brancos, podem reduzir a temperatura dentro de um edifício e, conseqüentemente, a necessidade de ar condicionado, reduzindo as emissões de dióxido de carbono (CO₂) associadas ao uso de energia. Além disso, telhados verdes ou telhados com jardins podem ajudar a mitigar a poluição do ar, filtrando-a, e reduzir o efeito das ilhas de calor urbanas, o que pode ser particularmente benéfico em áreas urbanas. Por outro lado, telhados feitos de materiais escuros podem absorver mais calor do sol, aumentando a temperatura dentro de um edifício e, portanto, aumentando a necessidade de ar condicionado. Isso pode aumentar as emissões de CO₂ associadas ao uso de energia (VIEIRA; SILVA JÚNIOR; DOS SANTOS, 2020).

Diante de todos esses fatos, buscou-se estudar formas de desenvolver telhados ecológicos com baixos custos de implementação, com uma proposta com componentes econômicos, sociais e ambientais trazendo a contribuição científica de analisar tanto a composição e eficiência das telhas como o potencial ecológico criando uma conexão entre engenharia civil e ambiental. Os objetivos se dividiram entre subprojetos, mas em síntese buscou-se averiguar indicadores como características da água coletada das telhas, temperatura e capacidade de retenção de água da chuva nos protótipos, bem como a viabilidade da capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) como cobertura de telhado verde e a sua capacidade de se desenvolver se suas sementes forem plantadas sobre os telhados. Com esse intuito, foram coletados e avaliados dados referentes às chuvas e à temperatura durante um período entre maio a dezembro de 2021 para estudar a implementação de mudanças na disposição de telhas onduladas de fibrocimento e avaliar se melhores benefícios podem ser usufruídos, bem como da geração espontânea de espécies vegetais. Após esse período foi avaliado durante outro período de maio a agosto de 2022 as influências da capuchinha na qualidade da água através da coleta da condutividade elétrica, no conforto térmico e retenção de água, bem como da sua usabilidade como vegetação em telhados verdes. Após esses períodos, de agosto a novembro de 2022 foram avaliadas a condutividade elétrica, retenção de água e a capacidade de germinação das sementes de capuchinha sobre uma camada de substrato, que imita um telhado verde e suas camadas. As sementes foram dispersas sobre o leito para que ocorresse a germinação de forma natural, com regas dosadas semanalmente.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

Considerando a crescente importância da adequação de telhados e coberturas nas cidades e o recente desenvolvimento de políticas que especificam a provisão de habitats de biodiversidade, é oportuno examinar as evidências ecológicas que apoiam os benefícios de conservação dessas coberturas. Aqui derivamos hipóteses testáveis sobre os benefícios de conservação de telhados verdes e avaliamos as evidências empíricas para elas. Nomeamos cada situação como “subprojetos”.

Subprojeto 1 – Telhado de fibrocimento.

Parte-se do pressuposto que a alteração da forma (disposição) do telhado de fibrocimento pode facilitar o crescimento espontâneo de vegetação, favorecer a diminuição do escoamento superficial da água e auxiliar na calefação da temperatura no inverno e no arrefecimento no verão. Considera-se ainda a hipótese de que diferentes materiais, especialmente de natureza biológica, têm potencial para atuar como atenuantes de situações climáticas extremas e ser um ponto enriquecedor da biodiversidade local.

O objetivo deste subprojeto é avaliar a influência do posicionamento dos telhados de fibrocimento e suas respostas quanto a retenção da água, crescimento espontâneo de plantas, acúmulo de sedimentos, e mudanças na temperatura.

Pretende-se ainda comparar os dados quanto à atenuação de calor, retenção de água, geração de substrato para permitir a colonização espontânea por plantas entre os protótipos. A comparação ocorreu sob duas dimensões: (i) mesmo tipo de material dispostos em diferentes posicionamentos, rotacionados em 90 graus (ii) diferentes materiais, através de protótipos com e sem barreiras de argamassa, dispostos em posicionamento similares.

Subprojeto 2 – Análise de indicadores ecológicos de telhados cobertos com planta Capuchinha (*T. majus* L.) adulta.

Parte-se da hipótese que a capuchinha é uma planta que pode ter seu uso difundido em coberturas de telhado verde, sendo ainda uma fonte de nutrição medicinal, com potencial econômico e que se adequa em exposições prolongadas ao sol. Pressupõe-se ainda, como hipótese, que ela contribuiria para o conforto térmico e para a diminuição do escoamento superficial.

O segundo subprojeto teve como objetivo analisar a hipótese de que a camada superficial de substrato com mudas de capuchinha pode ser boa para uso em telhados verdes, com benefícios térmicos, com boa retenção de água para atuar no escoamento superficial, com potencial de geração espontânea de novas vegetações, e apelo ornamental, fornecendo água para reuso se coletada. Portanto nessa etapa almejou-se avaliar a influência da vegetação na temperatura superficial e na qualidade da água, bem como sua adaptabilidade como cobertura.

Através de três protótipos com capuchinhas já desenvolvidas, com idade de um mês, foram realizadas comparações com três protótipos com cobertura simples de substrato aparente.

Subprojeto 3 - Análise de indicadores ecológicos de telhados cobertos com planta Capuchinha (*T. majus*) – semeadura.

Parte-se da pressuposição que a dispersão de sementes de *T. majus L.* no substrato aplicado sobre telhados é um método eficaz para o desenvolvimento de vegetação para telhados verdes se realizadas regas regulares.

Considerou-se a hipótese de que a semeadura num substrato no telhado seria capaz de produzir mudas, que influenciariam no conforto térmico, na retenção de água e nos demais parâmetros estudados nas etapas anteriores.

O objetivo desse subprojeto foi avaliar o potencial da semeadura tornar o processo de geração do telhado verde mais prático. Buscou-se também avaliar atributos fisiológicos da espécie tais como a capacidade da planta de germinar sob sol pleno, bem como quantificar a absorção de nutrientes do substrato pela espécie durante o período de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foram abordados e discorridos os contextos gerais dos fatores que são influenciados pelos sistemas de cobertura nas edificações, os contextos específicos que foram substanciais para a pesquisa, e o contexto da integração dos sistemas de cobertura aos elementos da dinâmica ambiental.

3.1. Aspectos ambientais ligados aos telhados.

3.1.1. Conforto térmico.

O conforto térmico é a condição de satisfação térmica do ser humano quando ocorre a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente dentro de um intervalo metabólico confortável e saudável, sem a necessidade de aumento excessivo ou diminuição da taxa metabólica. As soluções para melhorar o conforto térmico incluem a adequação do projeto arquitetônico com a incidência solar e captação da ventilação, iluminação e temperatura do ambiente, a seleção de materiais de construção adequados e o telhado verde (SILVA, 2015).

De acordo com Loh *et al.* (2011) apud Tonietto (2021) os telhados das casas são responsáveis por mais de 50% dos ganhos de calor dentro dela. Oliveira (2009) atesta que a própria camada de substrato dos telhados verdes atua como isolante térmico e Feitosa (2019), que as variáveis que atuam na assimilação desse conforto térmico são a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, o metabolismo e as vestimentas. Em ambientes desprovidos de medidas de atenuação de calor, a umidade e a temperatura são os principais responsáveis pelo sentimento de estresse térmico. Em elevados valores de umidade, o corpo humano perde capacidade de regulação da temperatura através do suor, que atua promovendo o arrefecimento da temperatura.

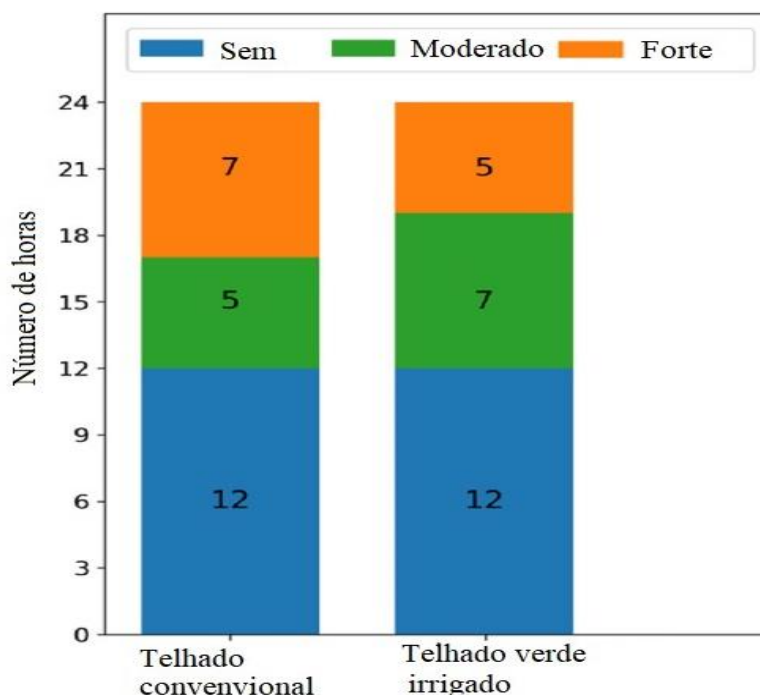
As nuances de temperatura são sentidas entre os níveis do telhado e do chão, e entre distâncias potencialmente longínquas pode-se sentir os efeitos dos telhados verdes em áreas urbanas (ZHENG *et al.*, 2023). O isolamento dos telhados é um dos métodos mais significativos para a impedir o resfriamento excessivo no interior das edificações e auxilia na diminuição do consumo elétrico, consequentemente contribuindo na redução da emissão de gases poluentes e na pegada ecológica de forma proporcional à quantidade de materiais e subprodutos naturais reciclados que forem utilizados (TAMS; NEHLS; CALHEIROS, 2022).

Tonietto (2021) analisou o conforto térmico provido por três tipos de telhados, de telhas de fibrocimento, de telhas de fibrocimento com tinta térmica branca e o telhado verde. A pesquisa indicou qual das opções teria melhor desempenho térmico e qual modelo apresenta melhor proporção entre custo e benefício, concluindo que ambos os telhados branco e verde apresentam temperaturas médias semelhantes, de 24,59° e 24,80°, porém com a umidade relativa do ar tornando o telhado verde a melhor opção quanto ao conforto térmico. Através disso verifica-se a proximidade dos telhados verdes com as soluções mais modernas para o equilíbrio térmico em edificações. A autora afirma que estratégias para arrefecimento da temperatura estão sendo desenvolvidas e telhados verdes cada vez tem ganho mais notoriedade e adoção entre o público. Através da pesquisa sobre os telhados ecológicos busca-se fornecer subsídio para o desenvolvimento sustentável e redução do consumo energético nas residências. A autora afirma também que antigamente os edifícios alcançavam conforto térmico às custas de um gasto muito maior com energia, em relação a atualidade, devido ao seu baixo custo na época, porém hoje em dia o acesso excessivo à energia elétrica gera gastos maiores se

comparado aos prédios de antigamente. As atuais práticas arquitetônicas têm focado em economia de energia e sustentabilidade, encorajando fontes de energia renovável.

Zuo *et al.* (2022) descobriram que os efeitos de resfriamento da temperatura dos telhados verdes tendem a ser maiores em áreas com maior densidade de prédios utilizando essa tecnologia, revelando um efeito benéfico cumulativo contra ilhas de calor. Ilhas de calor são fenômenos climáticos que contribuem com a intensificação do aquecimento nas zonas centrais das cidades, por baixa reflectância dos materiais usados nas coberturas e falta de áreas verdes, gerando um acúmulo de calor nos centros urbanos (CÉSAR *et al.*, 2023). Telhados verdes tem grande potencial de reduzir ilhas de calor urbanas por conta da alta porcentagem de coberturas de telhado em áreas urbanas, no entanto, comparando-se a redução de temperatura, telhados brancos com o máximo albedo (coeficiente de reflexão) são mais efetivos do que telhados verdes com irrigação diária (WANG; LI; SODOUDI, 2022). A comparação da quantidade de horas de estresse térmico por dia entre telhados convencionais e telhados verdes apresenta o benefício do conforto térmico provido por telhados verdes em Berlim (Figura 3.1), demonstrando uma redução nas horas diárias sob estresse térmico. Os valores “Sem” remetem a temperaturas sem estresse térmico, entre 9°C e 26°C, “Moderado” maiores que 26°C até 32°C e “Forte” maiores que 32°C até 38°C.

Figura 3.1 – Número de horas sob sensações de estresse térmico

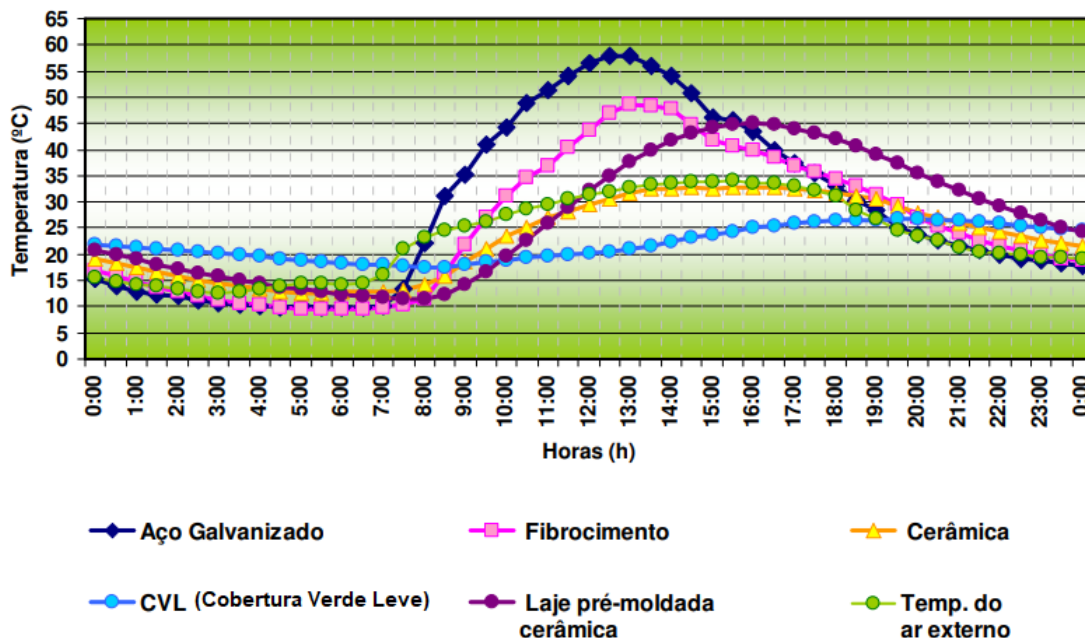


Fonte: Adaptado de Wang, Li e Sodoudi (2022)

Feitosa (2019) afirma que o efeito da vegetação sobre telhados ocorre de dia e de noite. De dia, a vegetação atua impedindo a absorção da radiação pela superfície, utilizando essa energia em seu processo metabólico e na sua transpiração, evitando o aquecimento e promovendo sombreamento de superfícies descobertas. À noite a camada de vegetação promove o resfriamento do ar ao redor, em dias quentes, e o mantimento de temperaturas medianas nas superfícies. Na Figura 3.2 é possível constatar essas variações de

temperatura através do gráfico de comparação entre coberturas de fibrocimento, aço, laje de concreto, telhas cerâmicas e telhado verde.

Figura 3.2 - Temperaturas superficiais internas de diferentes coberturas



Fonte: Adaptado de Lopes (2007).

3.1.2. Saneamento ambiental através da adequação de telhados e coberturas.

As soluções ecológicas atreladas às edificações permitem o favorecimento da dinâmica natural da água, representadas nesse contexto pela infiltração, percolação e armazenamento dos sistemas, como se a água estivesse sendo absorvida pelo ecossistema natural. Dessa forma, os telhados verdes podem fornecer diversos serviços ecossistêmicos (COOK; LARSEN, 2021). Em conjunto com o retardo da chegada da água às zonas de alagamento, sujeitas a inundações, as águas reservadas podem ser reutilizadas para usos domésticos não consumptivos, através dessa dinâmica de infiltração, percolação e armazenamento (SCHUTZER, 2014). Essa solução baseada na natureza favorece a não contaminação da água com contaminantes advindos da sujeira urbana, como óleos, plásticos e resíduos sólidos e líquidos, que contaminariam a água caso esta fosse direcionada diretamente para os instrumentos de drenagem urbana como sarjetas. Os benefícios ambientais se estendem também à qualidade do ar, pois através da fotossíntese ocorre a captura do dióxido de carbono (CO₂) tornando o ar mais fresco (ABASS *et al.*, 2020). Ademais, a mistura de tecnologia e sustentabilidade faz diminuir o impacto ambiental gerado pela urbanização (SANTOS, 2019). Nesse contexto, ocorre também a redução da desigualdade social quando se é possível oferecer espaços de lazer para a população, tendo áreas verdes mais acessíveis, que promovem um impacto psicológico positivo (ABASS *et al.* 2020).

Princípios de sustentabilidade quando aplicados em telhados favorecem não somente o local onde é instalado o sistema já que também atuam poupando fontes de água ao reduzir a demanda, criando fontes de

águas em diversas localizações se forem adaptados para o reuso e protegendo a quantidade e a qualidade da água, o que também favorece microclimas mais amenos nas cidades (KINKADE-LEVARIO, 2007).

A redução das ilhas de calor, a melhoria do microclima do ambiente, a diminuição da demanda energética, reduzindo o fornecimento de eletricidade para arrefecimento da temperatura no interior das edificações, a redução do ruído, a utilização da água da chuva, a formação de habitats para diferentes espécies, bem como o desenvolvimento de agricultura em locais estratégicos são outras formas de melhoramento da saúde ambiental em centros urbanos provida pelos telhados verdes (MORAIS *et al.*, 2021). Para prover os melhores benefícios ambientais e sociais os telhados devem ter um rico cobrimento vegetal, com folhas saudáveis (COOK; LARSEN, 2020)

Gomes (2019) analisou 15 variáveis de qualidade da água em telhados verdes, comparando-os com telhados não vegetados e telhados convencionais. Dentre os indicadores medidos estão o pH, a condutividade elétrica, turbidez e partículas físico-químicas como amônia, fosfato, cálcio, magnésio, potássio e sulfato. O autor concluiu que os telhados verdes foram fontes de nitrato, amônia e boro na água. O autor ainda sugere, para a redução da concentração de fosfato e potássio na água, um sistema em série desviador de primeiras águas, com filtros de areia com carvão ativado. Sobre a condutividade elétrica, não há um parâmetro definido na legislação (PIRATOBA *et al.*, 2017), no entanto águas naturais variam de 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ enquanto que águas poluídas apresentam valores mais altos que 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (VON SPERLING, 2007). Através desse estudo foi possível verificar que a turbidez na água ocorre em todos os telhados com substrato, com concentrações maiores de nutrientes no início das instalações e diminuindo no decorrer do tempo. Isso decorre da ação de carreamento do material mais fino na água, bem como da exposição do solo às intempéries.

3.1.3 Como telhados influenciam na vulnerabilidade às inundações.

O desencadeamento de inundações nas cidades está fortemente associado às elevadas taxas de impermeabilização do solo e aos altos índices pluviométricos que aumentam a velocidade e o volume do escoamento superficial, bem como pela contínua impermeabilização de superfícies permeáveis em decorrência do processo de urbanização (MA *et al.*, 2022). A alta pluviometria concentrada em pequenas áreas gera uma demanda que não pode ser suprida pelos sistemas de drenagem urbana, sendo necessário o uso de medidas mitigadoras para que alagamentos não ocorram (MORAIS *et al.*, 2021).

Os telhados verdes atuam imitando os processos naturais de interceptação, armazenamento, infiltração e evaporação da água (YANG; LEE, 2021). São necessárias diversas medidas de desenvolvimento ecológico nas cidades para atenuar o escoamento superficial e diminuir o volume de água em enchentes. As medidas atualmente se denominam Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana, ou *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS). Esse sistema tem sido estudado e aplicado em países desenvolvidos desde meados da década de 1970. Os telhados verdes constituem uma dessas medidas (TABARES-CATIMAY, 2019). Os telhados verdes são indispensáveis quando se trata de SUDS em países desenvolvidos, sendo uma das principais infraestruturas para sistemas sustentáveis de drenagem urbana (LEITE; ANTUNES, 2023).

A eficiência na quantidade da coleta de água da chuva depende primariamente da área superficial na qual a água cai e é coletada (KINKADE-LEVARIO, 2007). O potencial de captação da água da chuva é resultado da extensão e da forma como a água é direcionada aos pontos de saída. As características que pautam a capacidade de contenção de água em telhados verdes são: número de camadas internas, os materiais

utilizados, a espessura do solo, o tipo de vegetação, a forma do telhado, a dimensão da precipitação ou sua distribuição espacial, a saturação do substrato e a declividade (CANABRAVA *et al.*, 2021).

3.1.3.1. Diminuição do escoamento superficial.

Santos (2019) realizou estudos comparando o escoamento superficial e o desempenho térmico de um telhado de fibrocimento e de um telhado verde do tipo extensivo. Também foi feita a comparação entre tipos de tratamentos em telhados de fibrocimento para analisar a retenção de água da chuva e a eficiência térmica nessa mesma dissertação. Os resultados apontaram que os telhados verdes são uma boa alternativa na redução do escoamento superficial. Os valores de retenção de água se relacionam diretamente com a altura de chuva e da camada de substrato, pois a capacidade de retenção, inerentemente finita, depende da absorção e da contribuição de água sendo precipitada (BARYŁA *et al.*, 2019).

Vieira, Almeida, Albuquerque (2020) concluíram com sua pesquisa que o retardo alcançado através da implementação de telhados verdes variou de 39,68% a 100%, comparando telhados convencionais e telhados verdes com capacidades de retenção de 25 l.m⁻² a 160 l.m⁻². Em chuvas de baixa intensidade, fatores como porosidade e umidade do solo, área de cobertura vegetal e altura do substrato podem se tornar mais significantes para afetar o teor de retenção de água. Já em eventos de grande precipitação, o período de detenção da água, bem como o potencial de redução do pico de vazão dos telhados verdes é de grande valia para a mitigação de alagamentos (BARYŁA *et al.*, 2019).

Os SUDS são implementados nas cidades para atuar na diminuição do escoamento superficial, e suas principais formas de implementação são os jardins e valetas de infiltração, cisternas para retenção e detenção, os telhados verdes e os pavimentos permeáveis. São sistemas de drenagem que atuam em quaisquer locais onde há possibilidade de melhoramento da infiltração e da velocidade de escoamento, e promovem a inserção de áreas e paisagens naturais em espaços urbanos (MORAIS *et al.*, 2021).

3.1.4. Coberturas de fibrocimento.

As coberturas de fibrocimento são compostas por uma mistura homogênea de cimento Portland reforçada por agregados e adições de fibras, fios e filamentos, com exceção de fibras de amianto (ABNT NBR 15210-1, 2005).

Água coletada para dessedentação não deve ser coletada de coberturas que contenham revestimentos com zinco, cobre, amianto, nem com tintas que contenham chumbo, ou compostos asfálticos (KINKADE-LEVARIO, 2007), portanto a água coletada desse tipo de cobertura deve ser destinada para usos diversos da dessedentação, tendo sua classificação como classe 4 (BRASIL, 2005). De acordo com Boettger e Martins (2018), as telhas de fibrocimento são confeccionadas a partir de uma mistura de cimento e fibras, sendo as fibras de diferentes materiais, como amianto, antes da proibição em 2017, celulose, fibras de polipropileno e álcool polivinílico (PVA). As telhas são classificadas em A, B, C e D, de acordo com o tamanho de suas ondulações (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Classificação das telhas de fibrocimento

Classe	Descrição	H - altura (mm)
A	Ondas pequenas	$15 \leq h \leq 25$
B	Ondas médias	$25 \leq h \leq 40$
C	Ondas grandes	$40 \leq h \leq 60$
D	Ondas muito grandes	$60 \leq h \leq 150$

Fonte: ABNR NBR 15210-1/2005

3.1.5 Sistemas de drenagem urbana.

Sistemas de drenagem urbana, como concebidos atualmente (ano 2023), já não estão desempenhando perfeitamente suas funções, principalmente pelas mudanças climáticas e pela rápida urbanização. Por conta das mudanças climáticas os dados hidrológicos de eventos extremos estão perdendo sua credibilidade, já que os sistemas de previsão estão cada vez lidando com variações mais atípicas. Os esforços para mitigação e adaptação contra os prejuízos decorrentes de eventos extremos devem ser inseridos em um gerenciamento integrado com análises de incerteza, projeções climáticas e políticas econômicas, sociais e ambientais que sejam compatíveis ao contexto local a qual pertencem (YAZDANFAR; SHARMA, 2015).

A insuficiência dos sistemas de drenagem de águas pluviais tem sido estudada e de acordo com Jobim (2013), técnicas de mitigar esse problema estão sendo incentivadas em diferentes escalas. A aplicação de telhados ecológicos é uma dessas técnicas, já que os telhados constituem cerca de 20% a 25% da superfície urbana (SANTOS, 2019). A parte orgânica do telhado verde pode absorver grandes quantidades de água fazendo com que a precipitação fique acumulada no mesmo.

O telhado verde é uma técnica compensatória para a diminuição das inundações urbanas devido à sua capacidade de reter, armazenar e filtrar as águas pluviais (MORAIS *et al.*, 2021).

Existem basicamente dois tipos de sistemas convencionais de drenagem no mundo: Um sistema combinado – conhecido também como unitário - no qual a água de esgoto e as águas pluviais fluem juntas no mesmo tubo, e um sistema separado – conhecido como sistema de esgotamento separador absoluto - no qual águas cloacais (esgoto doméstico) e pluviais escoam por diferentes tubos (BUTLER *et al.*, 2018). No Brasil no sistema de separador absoluto o esgoto e a água da chuva ainda são transportados juntos para estações de tratamento de esgoto em decorrência de instalações clandestinas de águas pluviais na rede de esgoto e de conexões clandestinas de esgoto sanitário em sistemas de coleta de água da chuva (VILLANUEVA *et al.*, 2011).

Durante a estação chuvosa a vazão pode aumentar até 100 vezes e, assim, seria economicamente inviável a instalação de tubulações tão largas e estações de tratamento de esgotos adaptadas para tal volume de água, assim, no sistema combinado, existem tubulações de transbordamento que desviam o excesso de água para rios e córregos (BUTLER *et al.*, 2018).

Nesse contexto é de grande importância e contribuição um sistema para que as superfícies coletoras de água consigam reter parte dessa água, e até armazenar em telhados para futuras regas.

De acordo com Tucci, Porto, Barros (1995) medidas de controle de enchentes e inundações podem ser do tipo estrutural ou não estrutural:

Medidas estruturais - modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos das enchentes, como exemplo, reservatórios, diques e polders, barragens e modificações em rios.

Medidas não estruturais - programas de redução de enchente, políticas públicas voltadas à melhor convivência da população com as enchentes, de forma a minimizar os prejuízos sem os gastos com medidas estruturais, como exemplo, regulamentação do uso da terra em áreas de inundação, seguro de enchentes, previsão e alerta de inundações.

O incentivo através de políticas públicas aos telhados verdes e telhados ecológicos que tenham em si mesmos sistemas de retenção e armazenamento de água é uma medida não estrutural, porém, engloba em si mesmo a medida estrutural, ao passo que cria um reservatório individual para cada domicílio ou empresa.

3.2. Telhados Verdes - conceito e modalidades.

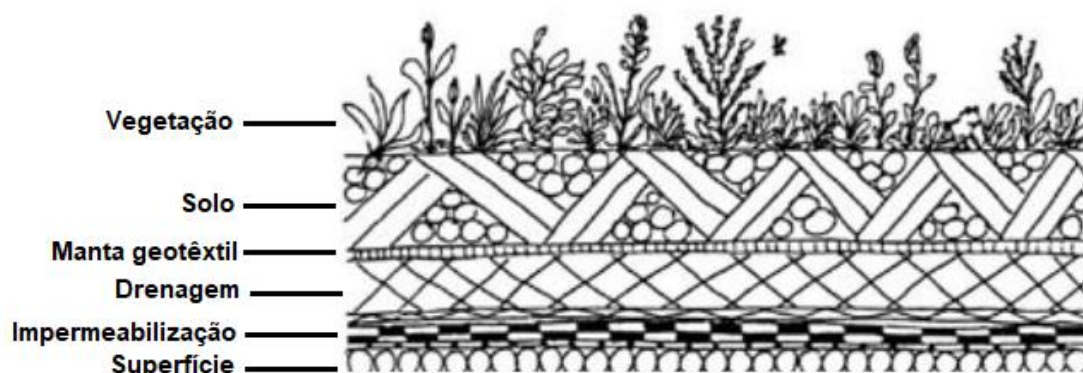
Entende-se por telhado verde a técnica construtiva de coberturas que consiste na aplicação de vegetação rasteira, até árvores, nos telhados das edificações. Telhados verdes, também conhecidos como cobertura vegetal, são um sistema construtivo que consiste de camadas de impermeabilização, drenagem, solo e vegetação (RIOS, 2016). As coberturas de telhado verde são utilizadas desde a antiguidade, séculos antes de Cristo, sendo relatadas como jardins suspensos à luz da era babilônica (BEATRICE, 2011). Atualmente (em 2023) pode-se observar um contínuo aumento de incentivo público em prol da aplicação desse método nos telhados porque o aumento da sua aplicação torna as cidades menos poluídas e com temperaturas mais agradáveis, além de promover habitats para diversas espécies de animais e insetos.

Exemplificando, entre 2010 e 2012, nos municípios de Guarulhos (SP) e Goiânia (GO), através respectivamente das leis municipais nº 6.793 de 2010 e nº 235 de 2012, foi iniciado um programa de descontos de 3% sobre o valor anual do IPTU caso o imóvel apresente a instalação de telhados verdes junto de outra medida sustentável contida nas leis. Também em Guarulhos, através da Lei nº 7.031 de 2012, fica obrigatória a instalação de telhado verde sobre construções de mais de três pavimentos (MORAIS *et al.*, 2021).

Para sua aplicação existe a necessidade de definição da espessura do substrato, que servirá para determinar quais espécies vegetativas poderão ser aplicadas, que são divididas entre três modalidades, sendo elas: extensivas, intensivas e semi-intensivas. Essas modalidades são divididas de acordo com o tamanho e peso da vegetação utilizada (BORGES, 2018).

Alguns telhados, de acordo com Vieira *et al.* (2018), têm módulos para armazenamento de água, e outros, como na Figura 3.3, oferecem canais para drenagem da água. A capacidade de retenção de cada telhado depende de sua forma construtiva. O escoamento da água para os sistemas de drenagem urbana ocorre apenas após esses reservatórios ou canais se encherem, ocasionando grande espaço de tempo até a contribuição do telhado para o acréscimo de água no sistema de drenagem urbano. No caso de telhados verdes que não possuem reservatórios, a ocorrência de escoamento superficial ocorre após o substrato ficar saturado e a capacidade de retenção depende da espessura, bem como da umidade do solo anterior à chuva (CHO; SANYAL; CATALDO, 2023). A implantação dessa modalidade de cobertura fica sujeita à uma análise estrutural prévia pois a sobrecarga no telhado pode gerar um carregamento adicional em eventos de máxima precipitação que ocasionariam a incapacidade de suporte do sistema. A seleção do sistema apropriado deve levar em conta a capacidade de carga da estrutura e as condições climáticas locais.

Figura 3.3 - Telhado verde visto em corte



Fonte: Adaptado de Tanner, Scholz-Barth (2004).

3.2.1 Telhados verdes extensivos e intensivos.

Telhados verdes extensivos são aqueles que preenchem uma área maior em comparação à sua espessura. As espessuras dos telhados verdes extensivos apresentam valores próximos a 10 centímetros, geralmente variando de 6 a 15 centímetros. Como sua espessura não é considerada alta, não abriga qualquer tipo de vegetação de grande porte, tendo sua variedade limitada a gramíneas e vegetações de pequeno porte com resistência maior a secas (SCOLARO; GHISI, 2022). Os protótipos de telhado verde confeccionados para essa pesquisa foram os telhados verdes extensivos.

Telhados verdes intensivos são aqueles que têm uma espessura maior para poder abrigar vegetações de maior porte (SCOLARO; GHISI, 2022). As espessuras dos telhados verdes intensivos apresentam valores próximos a 30 centímetros, geralmente variando de 15 a 40 centímetros. De acordo com Canabrava *et al.* (2021), esses telhados possuem aparência de um jardim convencional, podem ser utilizados como gramados de cobertura ou hortas. Podem atuar aumentando o espaço de vida em áreas de recreação, e podem aportar árvores frutíferas de pequeno porte. Geralmente tem inclinação inferior a 10°. Os telhados intensivos retêm mais água em comparação aos extensivos, por ocasião de sua espessura.

3.2.3. Indicadores de qualidade de solo e substratos.

Dentre os diversos parâmetros indicadores de qualidade de solos, sedimentos e/ou substratos, citam-se a seguir aqueles que foram de interesse para o presente trabalho.

Matéria orgânica – medida em g/dm^3 , a matéria orgânica é um indicador importante da qualidade do solo, pois fornece nutrientes para as plantas e ajuda a melhorar a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água. Ela atua na estrutura e estabilidade do solo, bem como em sua fertilidade (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Fósforo – Componente medido em $mg.dm^{-3}$, é um dos nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e desempenha diversas funções importantes no solo. O fósforo é um componente

importante do ATP (adenosina trifosfato), que é a principal fonte de energia para as células das plantas. Além disso, o fósforo desempenha um papel fundamental na fotossíntese, na formação de raízes, no desenvolvimento de flores e frutos e na transferência de energia dentro da planta. O fósforo está frequentemente presente em formas insolúveis, o que significa que as plantas não conseguem absorvê-lo diretamente. Para que as plantas possam absorver fósforo, ele precisa ser convertido em uma forma solúvel através da ação de microrganismos presentes no solo, como bactérias e fungos micorrízicos (MENDES *et al.*, 2022). Diante disso, KARCZMARCZYK *et al.* (2020) alertam para a presença de plantas que estimulem ou permitam a permanência de microrganismos no substrato dos telhados verdes, de modo que viabilize o processo de mineralização do fósforo para que ele fique biodisponível às raízes das plantas.

pH – O pH é um dos fatores que indica sobre a acidez ou alcalinidade do solo, parâmetro importante pois uma alteração de pH afeta a capacidade das plantas de absorver nutrientes. O pH em solos usualmente varia entre 4 e 8. Solos mais ácidos geralmente são encontrados em regiões mais úmidas e tropicais, e solos mais alcalinos predominam em regiões mais secas. Os solos se acidificam por diversos fatores, porém um dos fatores que predominam sobre a acidificação dos solos é o intemperismo de minerais alumino silicatos, que liberam o íon Al^{3+} que se liga ao íon OH^- da água e assim liberam o íon H^+ da água. A abundância de íon de OH^- acarreta na precipitação de compostos insolúveis de alguns nutrientes, tornando-os indisponíveis para a absorção nas raízes das plantas (OSORIO, 2012).

Ca – Medido em mmolc.dm^{-3} , cálcio é um nutriente que atua nas células das plantas, mais precisamente em suas paredes e membranas. Ele é importante para a formação e fortalecimento das paredes celulares das plantas, tornando-as mais resistentes a danos físicos e patógenos, bem como na regulação do transporte de água e nutrientes (WHITE; BROADLEY, 2003). Bergamin Bocardi *et al.* (2018) afirma que a acidez dos solos decresce quando a quantidade de íons de Ca^{+2} aumenta, isso decorre do fato de que o cálcio atua como base no solo, afetando a saturação por bases no solo.

Saturação por bases (símbolo: V%) - O parâmetro V% apresenta alta correlação com as variáveis K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , e inversa correlação com a acidez (BERGAMIN BOCARDI *et al.*, 2018). Esses itens são importantes pois afetam a condutividade elétrica das amostras de água coletadas. A saturação de bases é um ótimo indicador para avaliar as condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada como complemento na classificação dos solos. Os solos podem ser categorizados de acordo com a saturação de bases, sendo os solos eutróficos (férteis) aqueles com uma $\text{V}\% \geq 50\%$, enquanto os solos distróficos (pouco férteis) apresentam $\text{V}\% < 50\%$ (RONQUIM, 2010).

Al – o alumínio em sua forma iônica pode ser absorvido pelas raízes e causar toxicidade nas plantas, e em excesso pode inibir a divisão celular nos meristemas apicais das raízes, o que faz com que a absorção de cálcio, magnésio, potássio e outros nutrientes seja restringida, gerando deficiências nas plantas. O excesso de alumínio no solo também pode prejudicar as atividades dos microrganismos do solo responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e da fixação de nitrogênio, entre outros processos essenciais. Algumas plantas toleram mais que outras a presença do alumínio em seu solo (OSORIO, 2012). De acordo com Kochian (1995), o alumínio é um dos principais fatores limitantes para o crescimento de plantas em solos ácidos, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. O alumínio pode ser tóxico para as raízes das plantas, e em alguns casos, a toxicidade do alumínio pode ser tão severa que pode levar à morte das plantas.

S.B. (Soma de Bases) – medida em mmolc.dm^{-3} , é um indicador que se relaciona com saturação por bases (V%) e CTC – Concentração Total de Cátions na proporção que pode ser determinada pela Equação (3.1).

$$V(\%) = 100 * SB \div CTC \quad \text{Equação (3.1)}$$

De acordo com a Ronquim (2010) a soma de bases é um dos indicadores de fertilidade do solo pois representa a quantidade de nutrientes importantes disponíveis para as raízes, tais como cálcio (Ca^{2+}) magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^{+}) que contribuem para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A capacidade de fixação do substrato pelas raízes das plantas é um fator determinante para a qualidade da água escoada dos telhados. Solos com baixa soma de bases tendem a ser mais ácidos, menos férteis e menos produtivos, enquanto solos com alta soma de bases tendem a ser mais férteis.

Ao constituir os substratos com biochar, Tan e Wang (2023) constataram uma melhora nas propriedades hidrotérmicas, tanto em questão de atenuação de temperatura em dias quentes como na capacidade de retenção de água em relação a substratos sem biochar. Isso se dá em decorrência da abundância de micro poros e da área de superfície específica das partículas desse material, que o tornam mais capaz de reter partículas de substrato e de água. Segundo os autores acima citados o biochar também ajuda na composição de substratos para plantas que ficam expostas a maiores períodos de seca, aumentando a taxa de sobrevivência da vegetação. Outro estudo identificou que as composições com partículas mais finas desse material trouxeram maiores índices de água disponível para as plantas do que com partículas mais grossas para períodos de escassez, porém partículas mais grossas geram uma maior taxa de infiltração, em comparação com partículas finas, devendo ser utilizadas em plantas menos sensíveis à escassez de água (WERDIN *et al.*, 2021).

3.3 Planta Capuchinha *Tropaeolum majus* L. – apresentação da espécie e aspectos bio-ecológicos.

A espécie focada em algumas partes do presente trabalho é popularmente conhecida como Capuchinha, Flor-de-Chagas e Chaguinha, pertence à família Tropaeolaceae e é uma espécie amplamente cultivada no Brasil para fins ornamentais, medicinais e alimentícios (ZARDO *et al.*, 2016). São vegetações com folhas orbiculares, com porte de pequenos arbustos esparramados, eficazes em canteiros, divisas, plantações mistas, jardins herbáceos, como coberturas de solo anuais em encostas ou outras áreas ensolaradas. Com exceção das raízes, todas as partes da planta (folhas, brotos, flores e sementes) são comestíveis e podem ser utilizadas em saladas. De acordo com Menegaes e Backes (2021) o embelezamento dos ambientes (Figura 3.4) afeta aspectos psicológicos e ecológicos dos seus usuários, além do benefício alimentar e medicinal.

Figura 3.4 - Jardim ornamental de *T. majus*

Fonte: O autor (2022).

Com relação aos benefícios à saúde humana, a *T. majus* possui ação antimicrobiana e antifúngica, atua na prevenção da perda de massa óssea, como estimulante do bulbo capilar, tem propriedades expectorantes, digestivas, antiespasmódicas, diuréticas, antissépticas, anti-hipertensivas, anti-inflamatórias, além de outros benefícios por ser rica em vitamina C (ZARDO *et al.*, 2016). De acordo com Silva *et al.* (2018) as flores e folhas ainda possuem uso medicinal por serem ricas em antioxidantes como compostos fenólicos, flavonoides e tem um baixo custo de produção, podendo gerar aumento de renda familiar.

Para poderem germinar, indivíduos dessa espécie requerem situações específicas em termos de clima e solo ou substrato. Se as condições não forem adequadas ocorre uma redução significativa dessa germinação. Por exemplo, a germinação durante períodos com média de temperatura mais alta (temperaturas maiores que 30°C) a taxa de germinação pode chegar a zero (SILVA *et al.*, 2018). Através do estudo feito foi possível revelar mais características da germinação *in loco* da planta em comparação com a germinação em sementeira.

A deficiência de nitrogênio é uma das causas mais comuns de amarelamento das folhas em plantas. O nitrogênio é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento da planta, sendo um componente importante da clorofila, que é responsável pela cor verde das folhas, bem como dos aminoácidos e proteínas. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), a assimilação do nitrogênio, processo envolvido em diversas reações bioquímicas nas plantas, é uma das reações que mais demandam energia das plantas. Quando ocorre deficiência de nitrogênio, as folhas ficam amareladas, pequenas, com o crescimento retardado e a planta pode ficar mais suscetível a doenças. A deficiência por nitrogênio pode ser causada por excesso de irrigação, redução do pH do solo ou substrato, baixo teor de matéria orgânica no solo e secas por períodos longos (LIMA FILHO, 2020). Há vários tipos de compostos nitrogenados no solo ou em substratos similares a este usado no presente estudo (amônia, amônio, nitrato, nitrito). No processo de lixiviação, que é um processo comum em sistemas de telhados verdes, a forma nitrato é que mais fica exposta a esse processo e ocorre maiores perdas. A forma amônia (NH₃) é que fica mais exposta ao processo de perdas por volatilização (Zhu *et al.*, 2021). Então, presume-se que a perda ocorre em diferentes formas ao longo do ano em função da alternância de períodos chuvosos e períodos secos. Desta forma, entende-se que a cobertura provida pela presença das plantas é

essencial na manutenção do referido elemento, pois ela protege o sistema das avarias ambientais e também o estoca na sua respectiva biomassa. Em situações em que não há cobertura vegetal, a perda por lixiviação pode até mesmo constituir uma fonte de poluição das águas pluviais que passarem pelo sistema (telhado verde) e que possam atingir os cursos d'água.

As deficiências em outros nutrientes, como potássio, fósforo e magnésio também são causas potenciais de amarelamentos em plantas. O potássio atua no equilíbrio hídrico, mantendo o teor de água ideal nas células das plantas e, em períodos de seca a deficiência deste nutriente se revela através de manchas e pontuações, com posterior murchamento nas folhas. A deficiência em fósforo, por sua vez, apresenta-se como limitador do crescimento, causando redução no tamanho das folhas, usualmente chamada de nanismo. Tal fato pode ser alavancado em épocas secas em função da escassez de água no sistema (LIMA FILHO, 2020).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Como citado anteriormente a presente proposta está dividida em três projetos. A seguir há a explicação específica de cada um deles, conforme as hipóteses e objetivos mencionados anteriormente.

4.1 Caracterização da Área.

A área onde foram executados os experimentos é um terreno com aproximadamente 40 m² e está inserida no Instituto de Ciência e Tecnologia – Campus de Sorocaba da Universidade Estadual Paulista - UNESP. Está localizada na Avenida Três de Março, 511 – Bairro da Boa Vista – Sorocaba – SP. Latitude 23°28'46.481" Sul, 47°25'1.697" Oeste, com altitude de aproximadamente 600 metros (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Localização da área onde foram conduzidos os experimentos, no Instituto de Ciência e Tecnologia – Campus Sorocaba – Unesp (círculo amarelo).



Fonte: Google Maps (2022). Escala aproximada da figura: 1:2000.

4.2 Descrição dos experimentos.

4.2.1. Subprojeto 1 - Investigação da influência do posicionamento das telhas através de indicadores físicos, químicos e biológicos.

O experimento foi conduzido usando nove unidades constituídas de telhas de fibrocimento sobre uma estrutura de madeira semelhante a uma mesa, mas sem o tampo. As telhas foram dispostas de três maneiras diferentes e com três repetições cada, sendo elas classificadas em A1, B1, C1, A2, B2, C2, A3, B3 e C3 (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Disposição dos protótipos

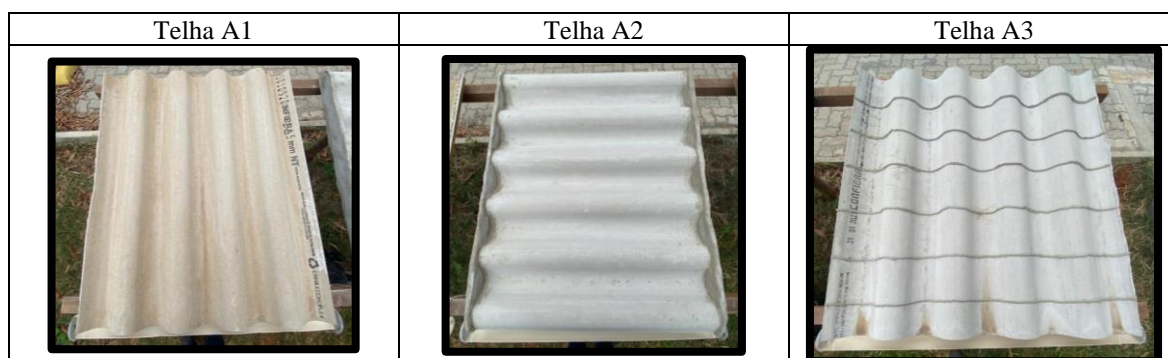


Fonte: O autor (2021).

As telhas possuíam dimensões de 1 metro (comprimento) por 80 centímetros (largura) e amplitude de ondulações de 5,5 cm (Figuras 4.3). Todos os protótipos foram nivelados com uma inclinação de sete graus, inclinados a partir da calha. As unidades (telhas) A1, B2 e C3 foram dispostas da forma normal, com sua inclinação levando a água para a calha (Figura 4.3). As unidades A2, B3 e C1 foram dispostas com o sentido

original de suas concavidades rotacionado 90° e com suas laterais fechadas com argamassa para que a água escorresse por cima de suas ondulações até verter na calha de PVC. As telhas A3, B1, e C2 foram dispostas com o sentido normal de telhas de fibrocimento, no entanto foram adicionados sobre a superfície pequenas barreiras de argamassa para que os diferentes parâmetros pudessem ser analisados. As telhas possuíam uma área de contribuição total de 0,8 m². O pluviômetro, 0,0254m². Assim, a altura de chuva pôde ser comparada por uma mesma unidade, após a conversão dos dados.

Figura 4.3 - Ilustração da posição das peças conforme cada condição experimental



Fonte: O autor (2021).

Em cada telhado foi instalada uma calha de PVC cortada ao meio em sentido longitudinal, com um furo e com um tubo em uma extremidade menos elevada por onde a água vertia para o reservatório plástico de 5,2 litros. Esses reservatórios foram cobertos com sacos plásticos pretos para evitar o crescimento de algas, devido à exposição à luz. Em cada ponta da calha coletora foi utilizado uma tampa plástica e assim, com o sistema vedado através de cola de PVC, a água recolhida de cada telhado ia da calha para o reservatório por gravidade.

Foram realizadas coletas do material particulado (sedimento) depositado sobre as telhas duas vezes durante o experimento. Para efetuar a coleta dos sedimentos foi feito um molde de papel sulfite com abertura quadrangular e quadricular de 10cm de lado, colocado sobre as telhas e assim a superfície das telhas foi varrida com um pincel para coletar todos os sedimentos da área.

Após a coleta, as amostras contendo sedimentos eram colocadas em cadinhos para terem sua massa quantificada em uma balança de precisão e posteriormente eram levadas a um forno mufla numa temperatura de 400°C por 120 minutos para terem sua massa seca quantificada na mesma balança de precisão. Através desse procedimento foi possível avaliar a quantidade de matéria orgânica que se acumulou sobre as telhas e a quantidade de demais sedimentos. O objetivo desse procedimento foi avaliar o potencial de formação de substrato sobre as telhas para fixação de plantas.

Para coletar as amostras referentes ao acúmulo de água da chuva, ia-se ao local de pesquisa, e em cada garrafa pet de 5,2 litros media-se o volume de água acumulada de cada telhado através de uma proveta de medição de 1.000 mililitros. Após a aferição do volume de água, uma parte desta era utilizada para a análise da condutividade elétrica.

Para as amostras de temperatura, efetuou-se medições às quartas-feiras no período da manhã, semana sim e semana não. Os dados de temperatura foram coletados através de um termômetro digital

infravermelho sem contato. Em cada telha, efetuavam-se cinco tomadas de temperatura. O equipamento, um termômetro infravermelho marca Bluboo e modelo B688 era sempre colocado a uma distância aproximada de dois a cinco centímetros entre o termômetro e a telha, observando sempre que essa distância não fosse menor que dois centímetros nem maior que cinco.

Após cada coleta onde o volume de água acumulada era medido, também se analisava a condutividade elétrica da amostra. Para avaliar a condutividade elétrica era utilizado um becker de 100 mililitros e um medidor multiparâmetro marca Oakton modelo PCS Test 35 de calibração automática. Após cada amostra os recipientes de análise - tais como o becker para medição da condutividade elétrica, o medidor multiparâmetro, as calhas, os tubos e a proveta eram lavados com água destilada para que as próximas amostras não fossem contaminadas com as amostras anteriores.

Dessa forma, obteve-se dados de condutividade elétrica, volume coletado em cada reservatório referente às chuvas do ano de 2021 e a temperatura com coletas quinzenais. Fotos foram tiradas quinzenalmente, sempre que eram efetuadas as coletas de temperatura.

Os dados foram devidamente anotados em planilhas e foram organizados e trabalhados para permitir análises estatísticas.

4.2.2. Subprojeto 2 - Investigação da capacidade de retenção de água, da influência da vegetação na temperatura, da condutividade elétrica da água e da geração espontânea em protótipos de telhados verdes e telhados com cobertura de substrato.

Foram utilizados módulos (caixas) de polietileno, de cor preta, de 20 litros de capacidade, de dimensões 54cm de comprimento, por 34 cm de largura e 13cm de profundidade, gerando uma área de contribuição de 0,1836 m². Todas as unidades (caixas) foram instaladas numa inclinação de 10°. Cada unidade foi preenchida com 4 litros de substrato de terra orgânica. Esse material orgânico foi colocado sobre uma camada de manta geotêxtil e também sobre uma camada drenante de argila expandida, que tocava a superfície impermeabilizada da caixa.

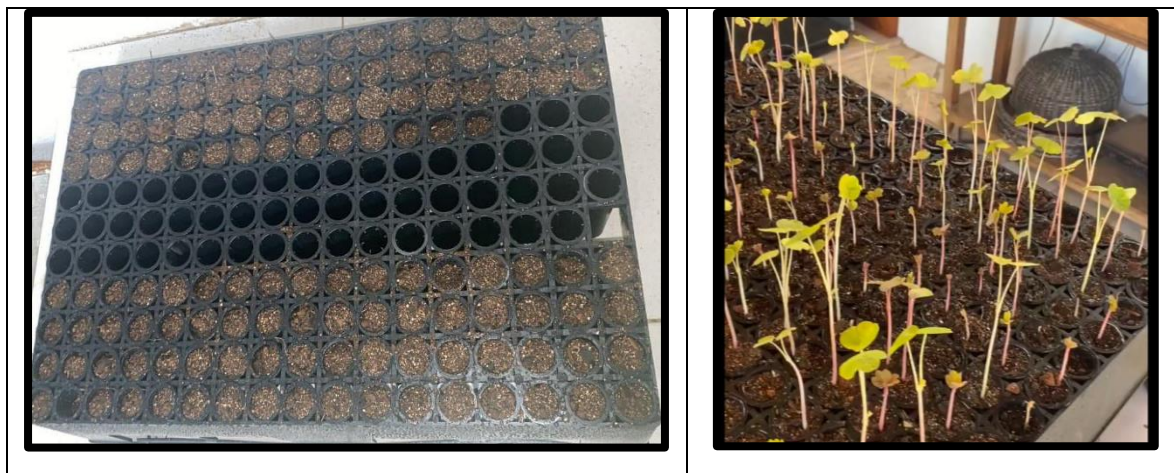
Foi feito um furo no canto inferior para permitir a coleta da água de chuva. Neste furo foi então conectada uma mangueira que levava a água aos reservatórios para armazenamento, coleta e posterior análise. Os reservatórios eram constituídos de um recipiente (garrafa PET) de volume de 5,2 litros sempre previamente lavados com água destilada tanto na fase inicial do experimento como também entre cada coleta.

A superfície da caixa serviu como material impermeabilizante. Sobre essa superfície foi disposta uma camada de argila expandida, para atuar como camada drenante. Acima dessa camada drenante, foi inserida uma manta geotêxtil para separação entre o substrato e a camada de argila expandida. Acima dessa camada de manta geotêxtil foi colocado substrato, e o substrato teve sua composição analisada em laboratório, exibido no Anexo 1.

Para a execução da segunda parte do projeto foram feitos seis protótipos, dos quais três foram confeccionados com as camadas de um telhado verde, porém sem vegetação, como explicitado acima. Os demais foram acrescidos de vegetação, com mudas de capuchinha que ficaram um mês germinando em sementeiras previamente ao seu plantio.

Os protótipos sem cobertura vegetal serviram como grupo controle, enquanto que os outros três protótipos executados com mudas de capuchinha anã (*Tropaeolum majus* L.) foram considerados a condição tratamento. As sementes foram germinadas previamente antes do plantio nos protótipos, tendo as sementes sido dispersas em tubetes de germinação de 55cm³ (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Ilustração da bandeja de sementeira (esquerda) e do processo de germinação da capuchinha em tubetes (direita).



Fonte: O autor (2022).

No início do experimento foi feita uma coleta do substrato o qual fora adquirido para uso nos experimentos. Tal amostra foi enviada a um laboratório terceirizado para análise. Ao término, novas amostras foram novamente coletadas e submetidas, tanto do substrato com vegetação como do sem vegetação. Os parâmetros analisados foram pH, teor de matéria orgânica (em gramas por decímetro cúbico - g.dm⁻³), teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases, concentração total de cátions, saturação por bases, saturação por alumínio, enxofre, e outros parâmetros foram quantificados, portanto, no início e no fim da segunda etapa. O laboratório onde foram feitas as análises é o IDEAL Análises Agrícolas e Técnicas Ltda, localizado em Sorocaba e credenciado pelo sistema de controle de qualidade de laboratórios do Instituto Agrônomo de Campinas.

Os dados referentes à temperatura foram coletados três vezes por semana. Usando o termômetro digital infravermelho já utilizado na primeira fase, foram coletados os dados de temperatura na parte inferior dos protótipos. A temperatura foi medida aproximando o termômetro a uma distância de dois a cinco centímetros e anotando o valor. A coleta ocorria três vezes em cada protótipo e os valores eram anotados e transferidos para planilhas digitais. A temperatura nos substratos também foi medida através de um termômetro de espeto com uma coleta única. A leitura do valor ocorria no momento em que era estabilizado o valor no visor do termômetro.

As regas também eram realizadas três vezes durante a semana, às segundas, quartas e sextas-feiras, logo após a coleta dos dados de temperatura. Em cada rega eram adicionados 0,8 litro de água de torneira em cada protótipo, mesmo aqueles sem plantas. Para decidir se se efetuava ou não a rega em determinado dia, avaliava-se qual o período sem chuva. Para períodos maiores que dois dias desde a última chuva, realizava-se a rega.

A quantidade de água que escoava para os reservatórios serviu de base para analisar o volume captado, que foi medido através de um recipiente graduado. Após anotada a quantidade de água captada, era então utilizado o medidor multiparâmetro (marca Oakton modelo PCS Test 35 de calibração automática) para avaliar a condutividade elétrica da amostra. Após as coletas enxaguava-se o medidor multiparâmetro, a proveta, o becker e os reservatórios com água destilada para que a condutividade elétrica voltasse a zero nos recipientes, de forma a não contaminar as demais amostras. Demais parâmetros de qualidade da água como pH e turbidez não foram medidos.

A primeira rega ocorreu no dia 02/05/2022 e no início da segunda etapa foi utilizada uma proveta plástica para dosar a quantidade de água fornecida para os protótipos. A quantidade definida para as regas foi de 800 mililitros por protótipo, porém ao constatar que as plantas não estavam saudáveis, por falta de água, já no dia 23/05/2022, a quantidade foi aumentada para 1000 mililitros por protótipo. Essa quantidade de água mostrou-se incapaz de causar escoamento de água para os reservatórios.

As coletas de amostras de água foram semelhantes à fase 1 do experimento. Em cada módulo ou telhas e, para tanto, ia-se ao local de pesquisa e, em cada recipiente pet de 5,2 litros de capacidade media-se o volume de água acumulada de cada protótipo através de uma proveta de medição de 1000 mililitros. Após a obtenção do volume de água utilizava-se uma parte para a análise da condutividade elétrica.

As amostras se chamam A1, B1, A2, B2, A3 e B3. Os protótipos do tipo A são com cobertura de substrato, usados como grupo controle para comparação com o grupo B, onde a camada superior é com vegetação de *T. majus*.

4.2.3. Subprojeto 3. Investigação da capacidade de germinação da capuchinha em substrato, e a comparação entre a cobertura de plantas germinadas e cobertura de substrato.

A terceira etapa começou dia 05 de agosto de 2022 e teve sua última coleta feita dia 24 de novembro do mesmo ano. Para a execução desta etapa da pesquisa, as mesmas caixas de argamassa de 20 litros foram utilizadas, porém com um volume maior de substrato (5,0 litros), e 3 litros de argila expandida, que eram o suficiente para forrar a superfície da caixa. As mesmas camadas, conforme a etapa anterior, foram utilizadas, sendo elas desde a mais superior para a mais inferior: substrato, manta geotêxtil, camada drenante de argila expandida e camada impermeabilizante (superfície da caixa).

Utilizou-se para a confecção do sistema de drenagem mangueiras do tipo cristal de ½ polegada por 2mm de espessura, adaptador de rosca de ½ polegada com bico para mangueira, conexão curva 90° com rosca macho de ½ polegada e rosca fêmea de ½ polegada, nas caixas furadas em seus cantos. Nesses furos foram inseridas as conexões curvas de 90° e nessas conexões foram rosqueados os adaptadores de rosca de ½", para que as mangueiras pudessem ser inseridas. Após a inserção das mangueiras nos protótipos as bandejas foram fixadas no suporte de madeira. As plantas foram semeadas sobre essa camada de substrato.

Foi feita uma coleta do substrato no início do experimento e ao término foi realizada outra, para que se possa comparar a influência das chuvas e da vegetação sobre o substrato através de análise laboratorial dos componentes. Para essa amostra laboratorial foi colhido três colheres de substrato de cada protótipo, para que houvesse uma amostra homogênea já que no momento da coleta as sementes de capuchinha ainda não haviam sido plantadas. Os parâmetros analisados foram pH, teor de matéria orgânica (em gramas por decímetro cúbico

- g.dm⁻³), teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases, concentração total de cátions, saturação por bases, saturação por alumínio, enxofre, e outros parâmetros foram quantificados, portanto, no início e no fim da terceira etapa, e estão disponíveis nos anexos 3 e 4.

As sementes de capuchinha foram dispostas em duas fileiras longitudinais com sete sementes em cada (Figura 4.5).

Figura 4.5 - Exemplificação da posição das sementes



Fonte: O autor (2022).

As regas ocorreram duas vezes na semana, sempre às segundas e quintas. Quando ocorria alguma chuva dois dias antes da data da rega, não se fazia a rega artificial. Assim, por exemplo, se chovesse no sábado, a próxima rega ocorreria apenas na quinta-feira.

4.3. Análise dos dados

Os dados foram organizados em planilhas digitais ou pastas digitais. Após finalizada cada etapa de coleta de dados de cada subprojeto os dados foram trabalhados a fim de gerar tabelas e/ou gráficos para posterior inserção na dissertação. A taxa de retenção de água pluvial foi calculada através da Equação (4.1) dada por Gong *et al.* (2021), sendo RRR a taxa de retenção de água da chuva, P o volume de chuva e R o volume escoado:

$$RRR = \frac{P-R}{P} \times 100$$

Equação (4.1)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme já feito nas seções anteriores, este capítulo também foi dividido em subtópicos, sendo cada um deles correspondente a um subprojeto.

5.1 Subprojeto 1.

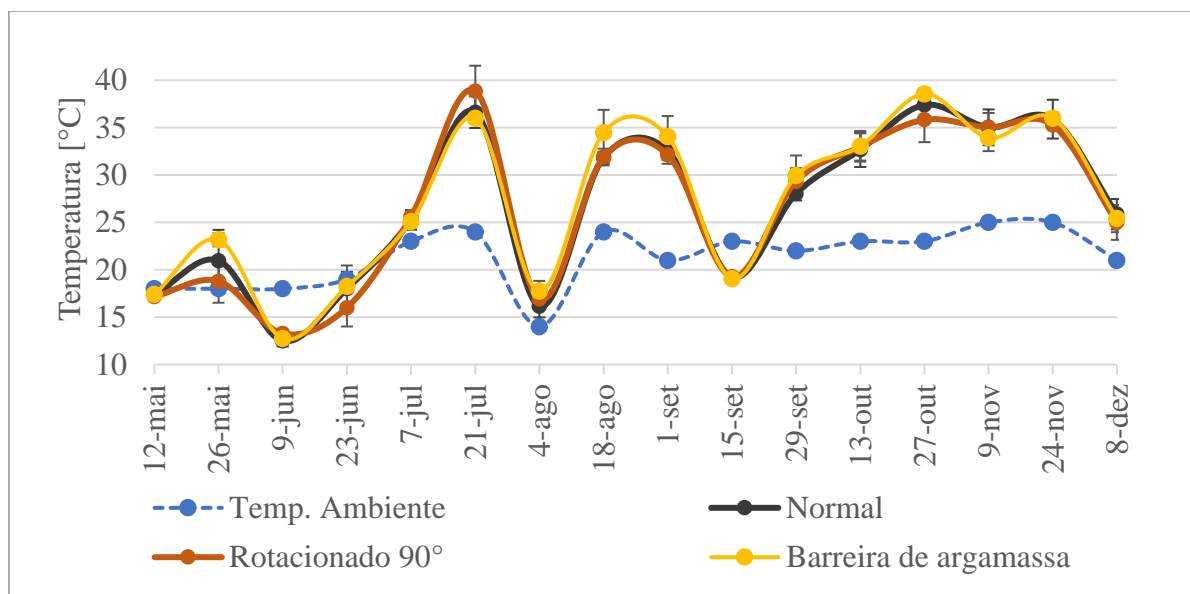
Quanto ao seu potencial de geração espontânea foi percebido que não houve nenhuma vegetação que se desenvolveu espontaneamente no decurso dos meses em que foram testadas as telhas de fibrocimento.

5.1.1 Análise da temperatura.

Entre o período de 12 de maio de 2021 a 8 de dezembro de 2021 foram realizadas 16 coletas, totalizando 720 dados de temperaturas ao longo da primeira fase. Para o tratamento dos dados foi utilizado Microsoft Excel®.

Verificou-se que, embora tenha ocorrido pouca variação entre os protótipos, os telhados ondulados de fibrocimento mantiveram uma temperatura predominantemente acima da temperatura do ar em dias quentes (Figura 5.1). Os dados de temperatura mostram pequena variação entre os protótipos, porém em relação à temperatura ambiente foram constatados picos que não demonstram correlação direta em comparação aos protótipos.

Figura 5.1 – Temperatura ambiente e média nos grupos de telhas.



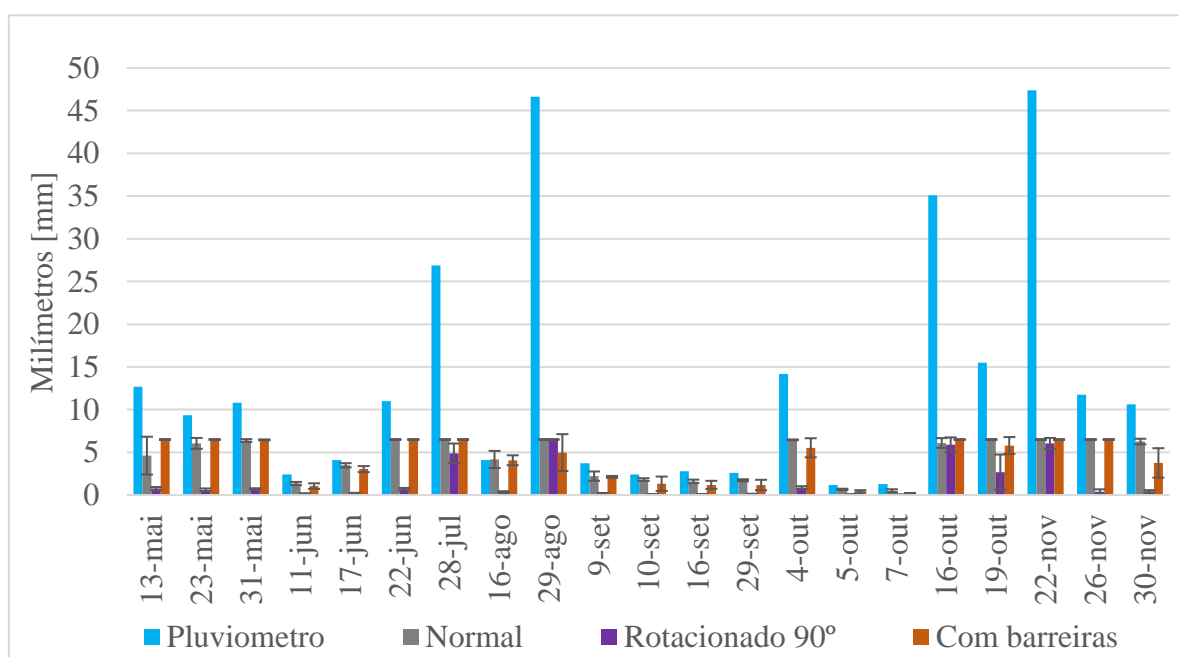
Fonte: O autor (2022).

5.1.2 Das coletas de água pluvial.

Na primeira fase do projeto foram feitas 21 coletas de dados da água da chuva entre 13 de maio de 2021 a 30 de novembro de 2021, sendo o dados coletados o volume e a condutividade elétrica. Os dados coletados se somam a quantidade de 210 amostras, sendo 21 vezes o volume do pluviômetro e 21 vezes por cada protótipo, que se somam nove no total.

O limite dos reservatórios de 5200 mililitros foi atingido em 12 chuvas. A quantidade de vezes que os reservatórios alcançaram sua quantidade limite de 5200 mililitros (ou 6,5mm) foi 62, o que representa que 30,9% dos dados coletados das amostras de água (Figura 5.2). Fatores como a evaporação e a retenção de água na cobertura das telhas de fibrocimento não foram abordados ou quantificados na pesquisa.

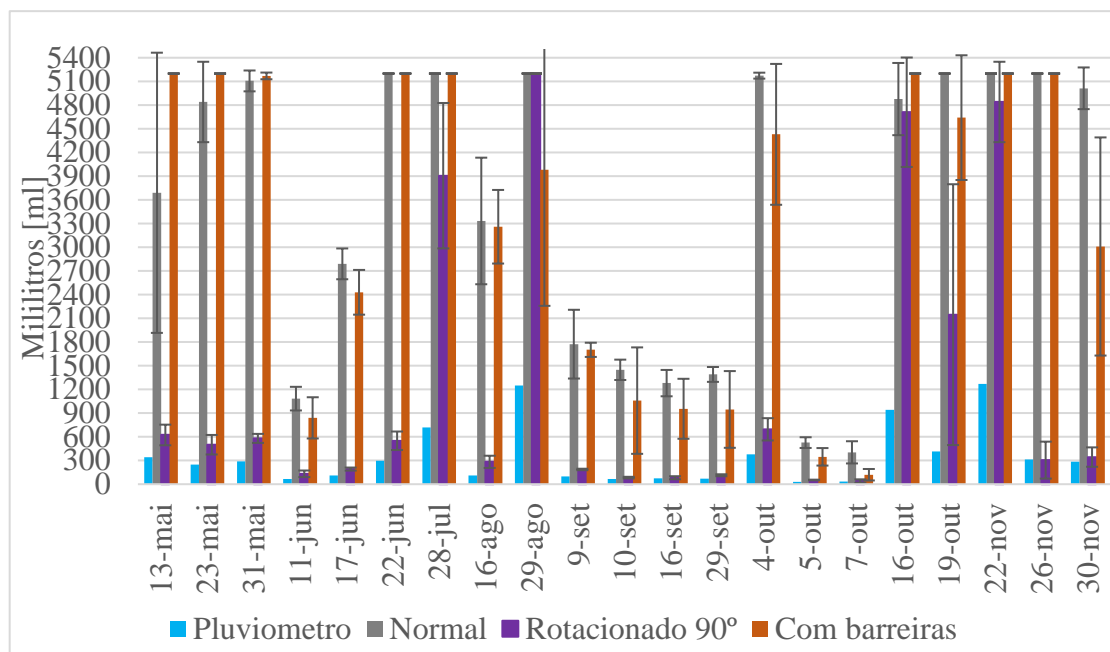
Figura 5.2 – Altura de chuva por protótipo



Fonte: O autor (2022).

É possível constatar a capacidade de retenção de água nas diferentes disposições das telhas no gráfico da Figura 5.3. Os protótipos rodados em 90° apresentaram a maior retenção de água, em seguida, os com as barreiras de argamassa e depois os controles, que representam telhas onduladas de fibrocimento convencionais;

Figura 5.3 - Mililitros de água acumulada nos reservatórios dos protótipos



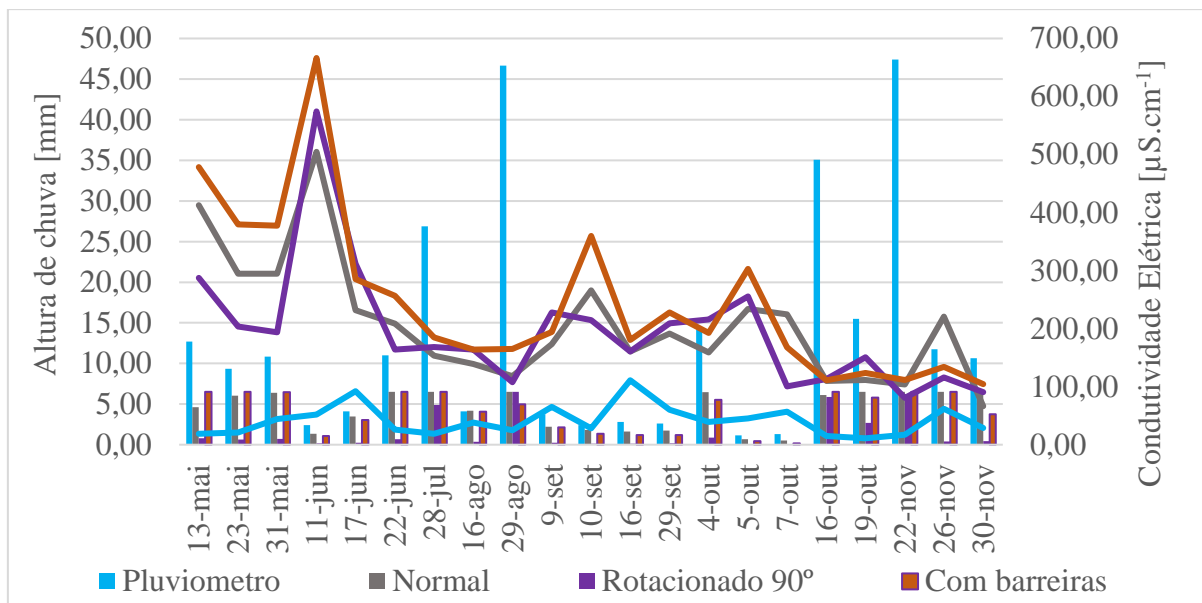
Fonte: O autor (2022).

5.1.3 Condutividade Elétrica das amostras de água.

Os dados referentes à condutividade elétrica, no gráfico (Figura 5.4 e 5.5) apresentam redução ao longo dos meses. A condutividade elétrica remete à concentração de íons dissolvidos na água. Comparativamente, Silva (2018) encontrou maiores valores iniciais de condutividade elétrica ao estudar a qualidade da água escoada de telhados de fibrocimento. O valor mais alto da condutividade elétrica no início do período de estudo pode estar relacionado com a concentração de partículas químicas dissolvidas na água, em decorrência dos processos de lixiviação das telhas, onde são liberadas fibras ou compostos dissolvidos das camadas mais superficiais. A lixiviação da pasta cimentícia de revestimento e a liberação de fibras da telha na água ocorrem com maior intensidade no início do período porque, ao decorrer do tempo, as fibras da superfície mais externa das telhas são desprendidas da matriz, podendo ser carreadas pela água e pelo ar (CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA, 2006).

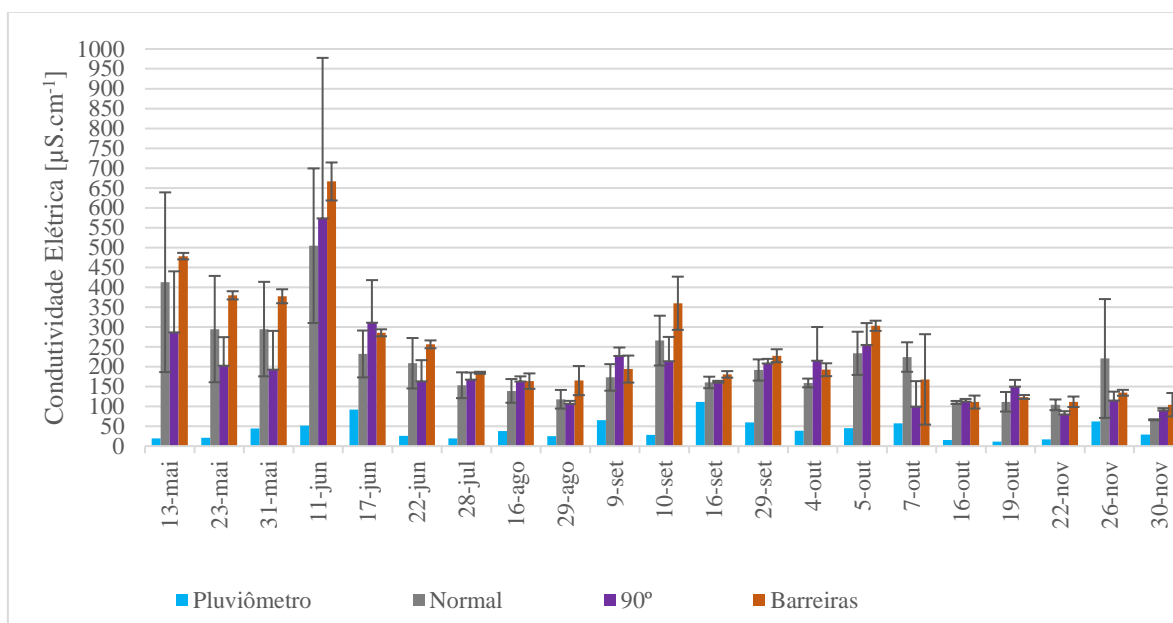
Ao longo das três primeiras chuvas é possível ver um padrão de comportamento semelhante entre a condutividade elétricas dos protótipos, tendo esse padrão quebrado apenas na quarta chuva. É comum ocorrer o descarte das primeiras águas de chuva em sistemas de cisternas justamente pela contaminação proveniente da superfície dos materiais e telhados.

Figura 5.4 – Altura de chuva com linhas de condutividade elétrica



Fonte: O autor (2023).

Figura 5.5 – Variação dos valores de condutividade elétrica nas amostras coletadas no período do experimento



Fonte: O autor (2022).

5.2 Subprojeto 2

5.2.1 Características das amostras de solo.

As amostras de solo apresentam variações e algumas propriedades dos solos são mais sensíveis que outras (VALLE *et al.*, 2019). Na Tabela 5.1 entende-se que a amostra primária foi aquela coletada antes do início do experimento e que serve para comparação dos tratamentos, enquanto amostra com vegetação e sem vegetação representam as amostras colhidas após o período de estudo do subprojeto.

É perceptível a diminuição do enxofre nas amostras que ocorreram após o período do experimento. O enxofre é um macronutriente que está associado com a síntese e com o metabolismo de nitrogênio, e apresenta expressivas perdas por lixiviação, juntamente com os cátions Ca, Mg e K (PAIVA; NICODEMO, 1994). Foi possível constatar que a quantidade de fósforo nas amostras com vegetação aumentou em relação às amostras de substrato, enquanto as amostras sem vegetação apresentaram um resultado inverso, demonstrando que a vegetação propiciou o acúmulo do nutriente no substrato.

Tabela 5.1 – Valores de cada parâmetro analisado nas amostras de solo coletadas antes e depois do período experimental

Indicador	Nome	Unidade	Amostra Primária do Solo	Amostra com vegetação	Amostra sem vegetação
pH	pH (CaCl ₂)	-	7,1	6,7	6,9
M.O.	Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	46	49	51
P	Fósforo	mg.dm ⁻³	146	289	113
K	Potássio	mmolc.dm ⁻³	17	13,8	8,6
Ca	Cálcio	mmolc.dm ⁻³	183	158	177
Mg	Magnésio	mmolc.dm ⁻³	24	27	27
H+Al	H+Al	mmolc.dm ⁻³	12	13	11
Al	Alumínio	mmolc.dm ⁻³	0	0	0
SB	Soma de Bases	mmolc.dm ⁻³	224	199	213
CTC	C.T. Cations	mmolc.dm ⁻³	236	212	224
V%	Sat. Por Bases	%	95	94	95
m%	Sat. Por Al	%	0	0	0
S - SO ₄ ²⁻	Enxofre	mg.dm ⁻³	43	7	5
K/CTC	% de K na CTC		7,2	6,5	3,8
Ca/CTC	% de Ca na CTC		77,5	74,6	79,2
Mg/CTC	% de Mg na CTC		10,2	12,7	12,1
K/Ca	K/Ca		0,1	0,1	0
K/Mg	K/Mg		0,7	0,5	0,3
Ca/Mg	Ca/Mg		7,6	5,9	6,6

Fonte: Laudo obtido pelo autor (2022) – vide anexo

Para facilitar a visualização, a Tabela 5.2 mostra as diferenças entre os indicadores para as amostras com e sem vegetação, em comparação com o solo no início do experimento. As observações ali contidas refletem as mudanças ocorridas em primeira instância, sem uma análise aprofundada sobre os motivos por trás das diferenças.

Tabela 5.2 – Descrição das variações observadas nas amostras de solo em relação ao valor registrado na fase pré experimental

Parâmetro	Amostra com vegetação	Amostra sem vegetação	Observação
pH	-0,4	-0,2	pH caiu em ambas, porém mais na amostra com vegetação
M.O.	3	5	Matéria orgânica aumentou mais na amostra sem vegetação
P	143	-33	Fósforo decresceu na amostra sem vegetação e aumentou com vegetação
K	-3,2	-8,4	Potássio diminuiu mais na amostra sem vegetação
Ca	-25	-6	Calcio diminuiu mais na amostra com vegetação
Mg	3	3	Magnésio aumentou igualmente em ambas as amostras
H+Al	1	-1	H+Al diminuiu na amostra sem vegetação e aumentou na amostra com vegetação
Al	0	0	Permaneceu igual
SB	-25	-11	Soma de bases diminuiu mais na amostra com vegetação
CTC	-24	-12	CTC diminuiu mais na amostra com vegetação
V%	-1	0	V% diminuiu na amostra com vegetação e não mudou na amostra sem vegetação
m%	0	0	Saturação por alumínio permaneceu zero
S – SO ₄ ²⁻	-36	-38	Enxofre foi drasticamente diminuído em ambas as amostras
K/CTC	-0,7	-3,4	% de K diminuiu mais na amostra sem vegetação do que na amostra com vegetação
Ca/CTC	-2,9	1,7	% de Ca diminuiu mais na amostra com vegetação, provavelmente em decorrência da absorção pela planta, na amostra sem vegetação houve aumento
Mg/CTC	2,5	1,9	% de Mg aumentou em ambas as amostras, mas aumentou mais na amostra com vegetação
K/Ca	0	-0,1	Relação de potássio/cálcio foi diminuída na amostra sem vegetação
K/Mg	-0,2	-0,4	Relação potássio/magnésio diminuiu em ambas, mas mais na amostra sem vegetação
Ca/Mg	-1,7	-1	Relação cálcio/magnésio diminuiu em ambas, porém mais intensamente na amostra com vegetação

Fonte: O autor (2023).

5.2.2 Análise da germinação e plantio.

A capuchinha é uma planta heliófita, ou seja, que necessita de sol, mas durante o trabalho apresentou fases em que as folhas amarelaram mesmo com sol pleno. O provável motivo pelo amarelamento nas folhas talvez seja a deficiência de nutrientes.

Foi constatado que as regas foram dosadas de forma insuficiente, pois ao final do período do experimento as plantas apresentaram nanismo, ou crescimento reduzido, amarelecimento das folhas, folhas necróticas e menor produção, que são sintomas de deficiências nutricionais em decorrência das secas, conforme mostra a Figura 5.6. Se comparado o desenvolvimento das capuchinhas na fina camada de substrato dos experimentos com o desenvolvimento das capuchinhas da Figura 3.3, verifica-se que a disponibilidade de substrato e de água é fator determinante para esse aspecto. Saraeian, Farrell, Williams (2022) ao estudarem as frequências de regas em telhados verdes, constataram que a altura das plantas, bem como a área de cobertura da folhagem, é inferior quando as regas são menos frequentes, na maioria das plantas testadas. Para o plantio da capuchinha em telhados verdes extensivos recomenda-se substratos com espessura entre 12 e 20 centímetros, com regas frequentes, de três vezes na semana. A quantidade de água utilizada por metro quadrado é de 65,63 litros por mês para um telhado de capuchinha.

Figura 5.6 – Ilustração das Capuchinhas com folhas amareladas



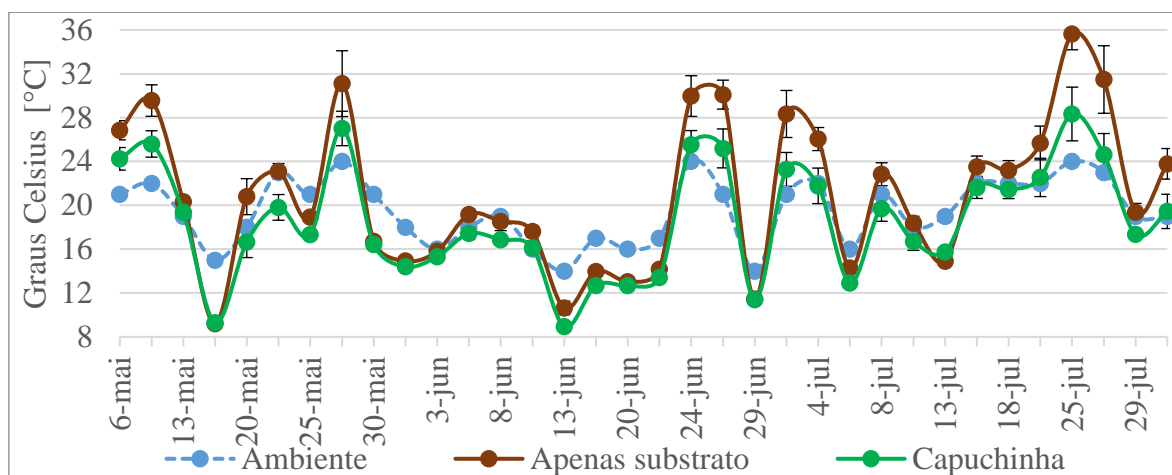
Fonte: O autor (2022).

5.2.3. Variação das temperaturas.

A seguir são apresentados os gráficos que foram elaborados usando os dados coletados durante o subprojeto 2. No gráfico da Figura 5.7 é possível verificar a proximidade das temperaturas entre os protótipos, o que indica que a real diferença entre temperaturas com e sem vegetação ocorre quando há uma forração vegetal com alta intensidade. É possível avaliar entre os gráficos da Figura 5.7 e 5.8 que houve semelhanças

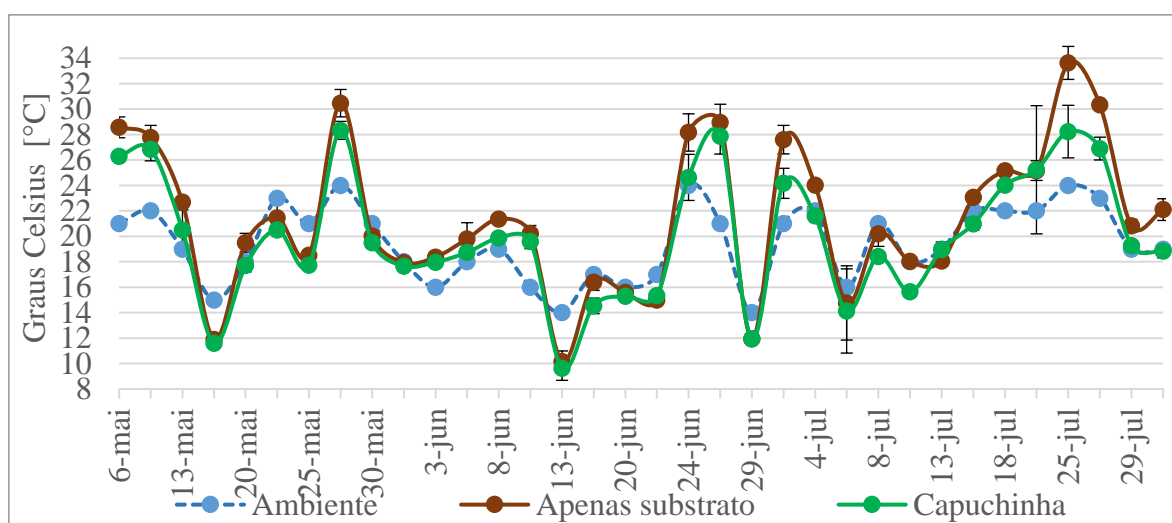
entre ambos, tendo havido proximidade de valores nas datas avaliadas, porém com a predominância de temperaturas mais altas nos protótipos com apenas substrato, em relação às com forração de capuchinha. Inferiu-se, que em decorrência da fotossíntese e da evapotranspiração, as coberturas vegetais proporcionem arrefecimento da temperatura em dias mais quentes.

Figura 5.7 – Temperatura média da base dos experimentos



Fonte: O autor (2022).

Figura 5.8 – Temperatura do substrato dos experimentos



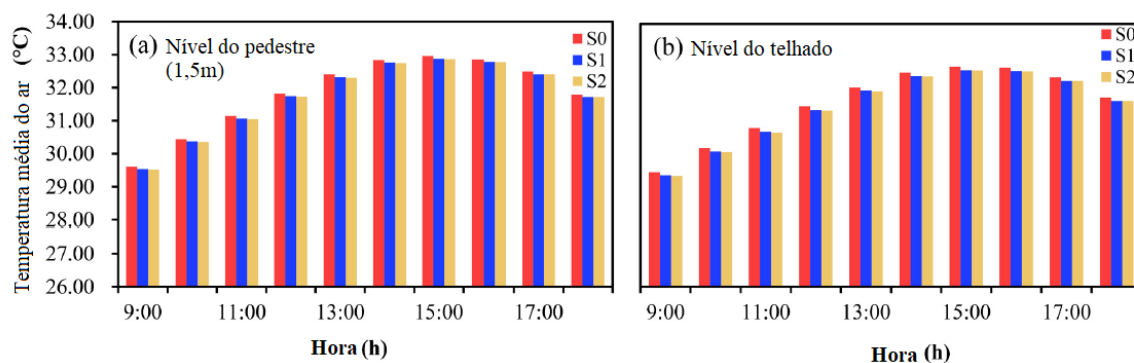
Fonte: O autor (2023).

As temperaturas no substrato dos experimentos sinalizam um comportamento semelhante às temperaturas na base dos protótipos, com a predominância de temperaturas mais altas dos experimentos com apenas substrato em relação aos com forração de capuchinha. As temperaturas entre telhados verdes e telhados convencionais não foram estudadas nesta pesquisa. Contudo, visando complementar a análise, cita-se que Polo-Labarríos *et al.* (2020) registraram, na capital mexicana, uma diferença de 12° C entre as temperaturas internas de dois prédios, um com telhado convencional e outro com telhado verde, o que remete claramente a uma

oportunidade de redução de consumo de energia elétrica com ar-condicionado em prédios durante o verão em locais quentes.

Zheng *et al.* (2023) também observaram pouca diferença na temperatura entre telhados verdes intensivos e extensivos. As diferenças maiores podem ser notadas entre os cenários sem telhado verde e os demais (S0 – sem telhado verde; S1 – telhado verde extensivo; S2 – telhado verde intensivo). A temperatura tanto no nível do pedestre como no nível do telhado é mais amena (Figura 5.9), corroborando com os dados levantados no presente estudo.

Figura 5.9 – Temperaturas médias do ar de três coberturas

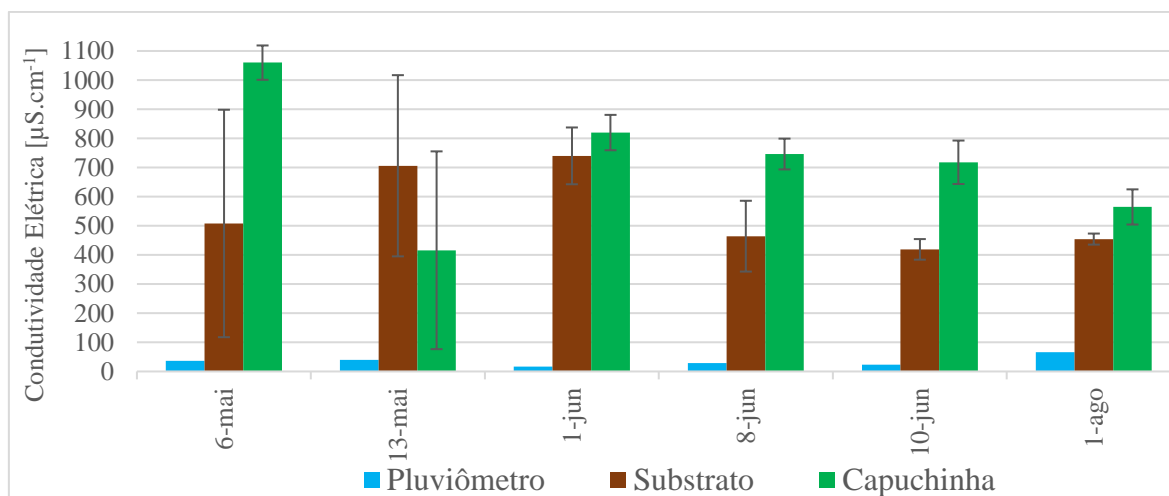


Fonte: Adaptado de Zheng *et al.* (2023).

5.2.4. Condutividade elétrica da água.

O gráfico de condutividade elétrica (Figura 5.10) apresenta uma anomalia pois no dia 06/05 não ocorreu volume de água no reservatório do protótipo A3, portanto não foi contabilizado. É possível notar que o pluviômetro apresentou uma condutividade elétrica muito menor que os protótipos, e isso decorre do fato de não haver a presença de substrato com partículas físico-químicas na água da coleta. A água que escoa dos telhados verdes, portanto, pode apresentar caráter poluidor se não for utilizada para fins que aproveitem essa alta concentração de íons na água.

Figura 5.10 – Condutividade elétrica das amostras de água coletadas ao longo do experimento.



Fonte: O autor (2022).

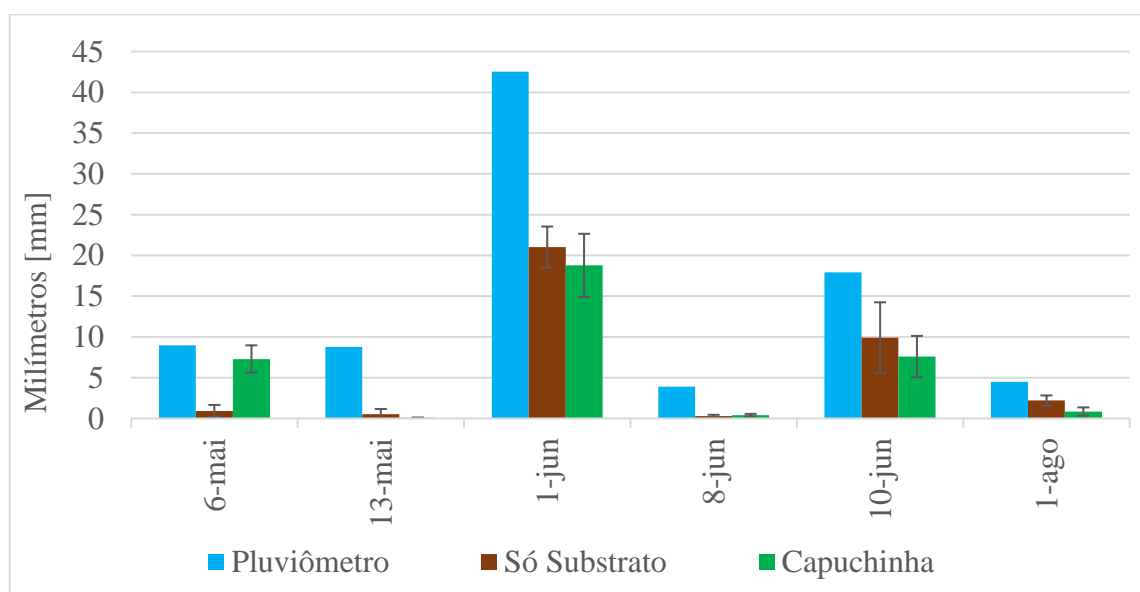
As amostras com substrato e vegetação se mostraram muito mais contaminadas por partículas em decorrência da lixiviação das partículas físico-químicas na água. Liu *et al.* (2019) ao compararem a quantidade total de sólidos suspensos, nitrogênio total e fósforo total entre telhados verdes e telhados convencionais encontraram grandes diferenças entre os valores, variando respectivamente três vezes mais na quantidade de sólidos suspensos e nitrogênio total nos telhados verdes, e quase duas vezes para fósforo total (0.046 mg.L^{-1} no telhado verde em comparação a 0.025 mg.L^{-1} do telhado convencional). É notável que a água que escoou dos telhados verdes apresenta uma condutividade elétrica mais alta, e isso ocorre por causa da passagem de partículas finas através das camadas de filtragem. Qianqian *et al.* (2019) afirmam que a concentração de nutrientes na água que escoou dos telhados verdes varia entre 5 a 10 vezes mais se comparado à água da chuva.

5.2.5. Das alturas das chuvas.

Nos dias 13/05 e 08/06 a chuva foi escassa. Para melhor evidenciar o volume de chuvas que no gráfico (Figuras 5.11) aparece muito próximo de zero, os dados foram exibidos na Tabela 5.3.

Para valores muito baixos de altura de chuva ($h < 10\text{mm}$) é possível constatar que os substratos absorvem quase toda a água, fazendo com que o volume de água seja muito próximo de zero. Fatores como a evapotranspiração e o consumo de água pela planta não foram abordados ou quantificados na pesquisa.

Figura 5.11 – Altura de chuva em milímetros



Fonte: O autor (2023).

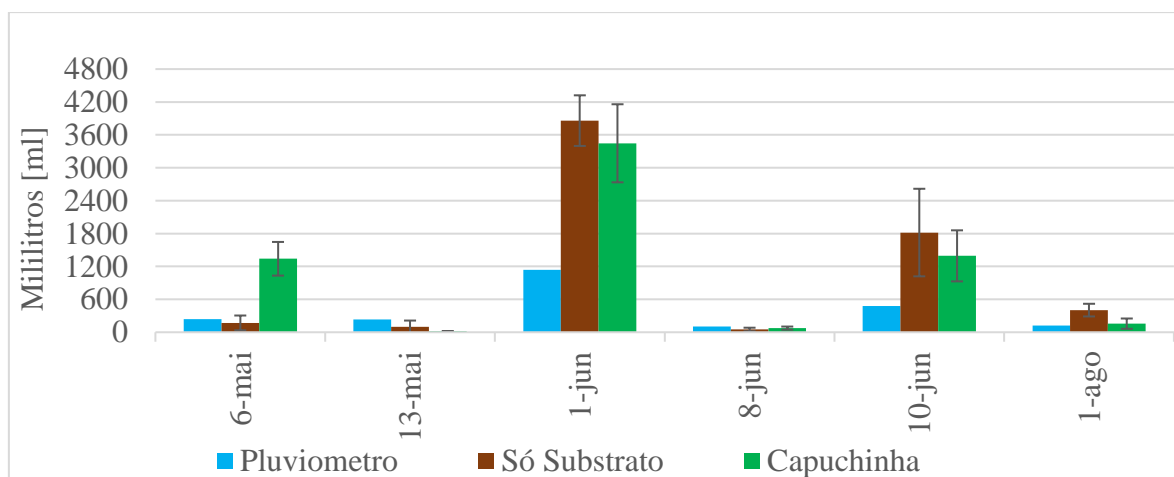
Tabela 5.3 – Volume de chuva em altura (milímetros)

Datas →	13/05	08/06
Pluviômetro	8,77	3,92
A1	1,25	0,24
B1	0,05	0,43
A2	0,12	0,05
B2	0,03	0,17
A3	0,07	0,43
B3	0,12	0,48

Fonte: O autor (2023)

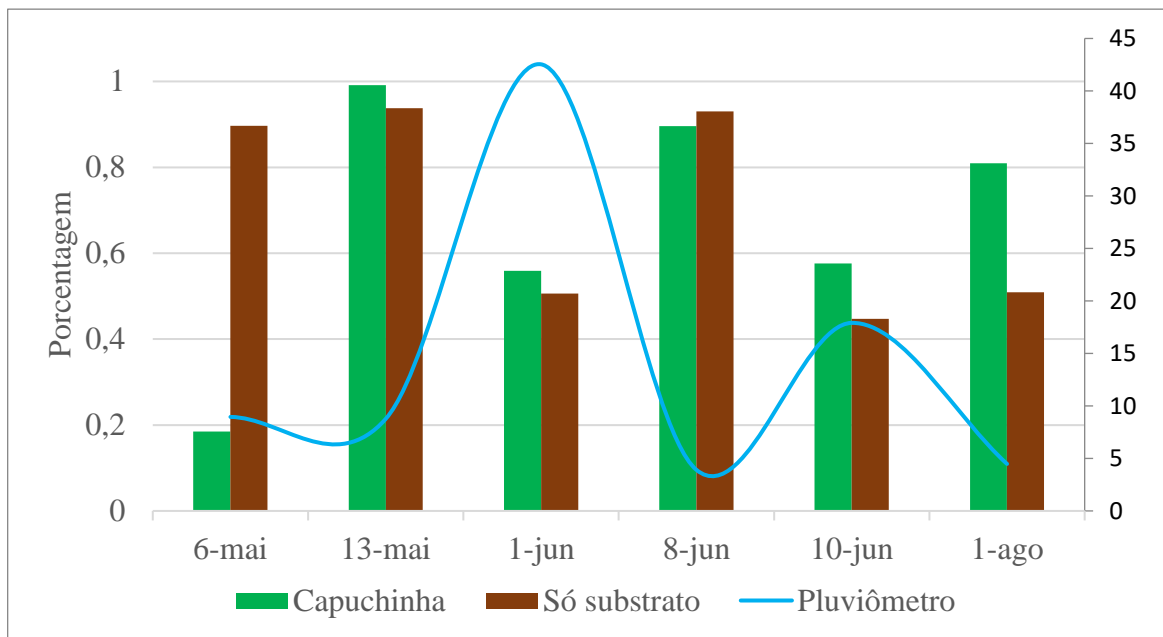
Ao estudar o comportamento da retenção de água em diferentes espessuras de substrato Ma *et al.* (2022) encontraram que a espessura ótima para a melhor retenção de água pelo substrato em telhados verdes é de 20 centímetros. Ao longo das coletas é possível verificar que predominantemente houve maior retenção de água nos protótipos com capuchinha (Figura 5.12). A taxa média de retenção da água da chuva variou de 44,7% a 93,8% no decorrer do experimento para os protótipos sem capuchinha e, para os protótipos com cobertura vegetal, de 18,5% a 99,1%. Em decorrência de uma anomalia onde o reservatório no dia 06 de maio de 2023 foi encontrado vazio, os dados podem parecer incompatíveis com a realidade, porém é possível constatar que a retenção de água foi maior nos protótipos com vegetação nos outros dias (Figura 5.13). É possível verificar que em eventos de baixa altura de chuva a porcentagem de retenção tende a ser maior, e vice-versa (Figura 5.14).

Figura 5.12 – Mililitros de chuva



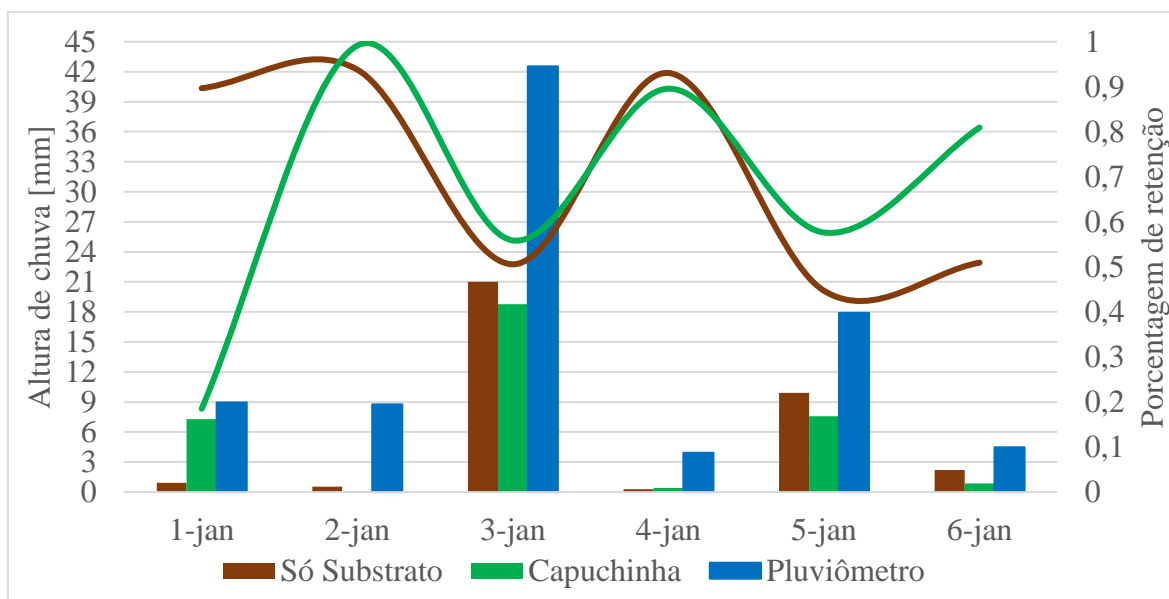
Fonte: O autor (2022).

Figura 5.13 – Porcentagem de retenção de água com linha de milímetros de chuva



Fonte: O autor (2023).

Figura 5.14 – Altura de chuva com linha de porcentagem de retenção



Fonte: O autor (2023).

5.3 Subprojeto 3.

Sob as condições experimentais estipuladas nesse estudo, a capuchinha apresentou baixo índice de germinação. O cultivo dela é indicado na primavera, porém foi plantada na época de inverno. Ademais, a frequência das regas podem ter sido insuficientes. Por outro lado, foi observado o aparecimento de novas espécies que germinaram espontaneamente no local e se desenvolveram brevemente (curto período) porém nenhuma com desenvolvimento vigoroso (Figura 5.15).

Figura 5.15 – Germinação espontânea de novas espécies

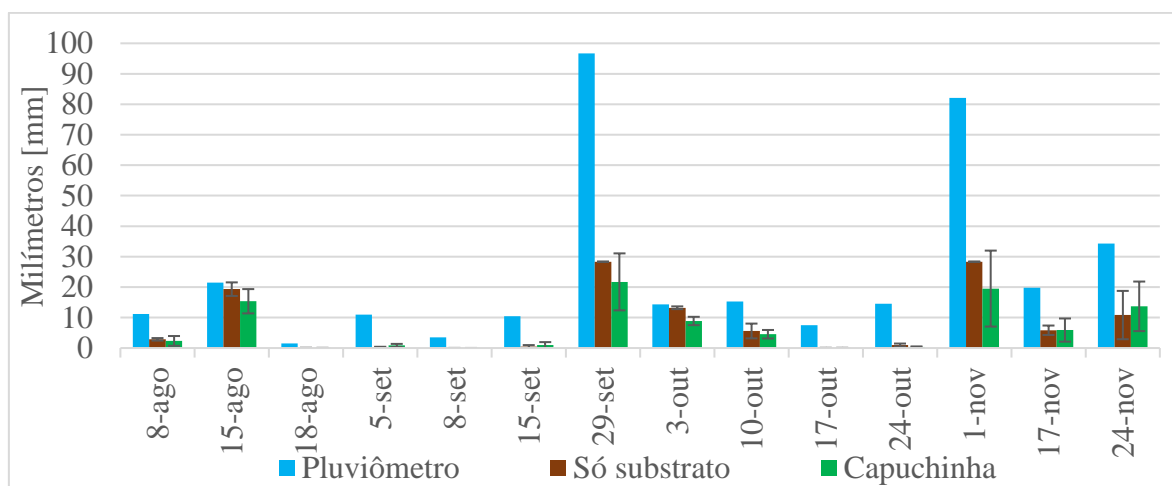


Fonte: O autor (2022)

5.3.1 Das alturas das chuvas.

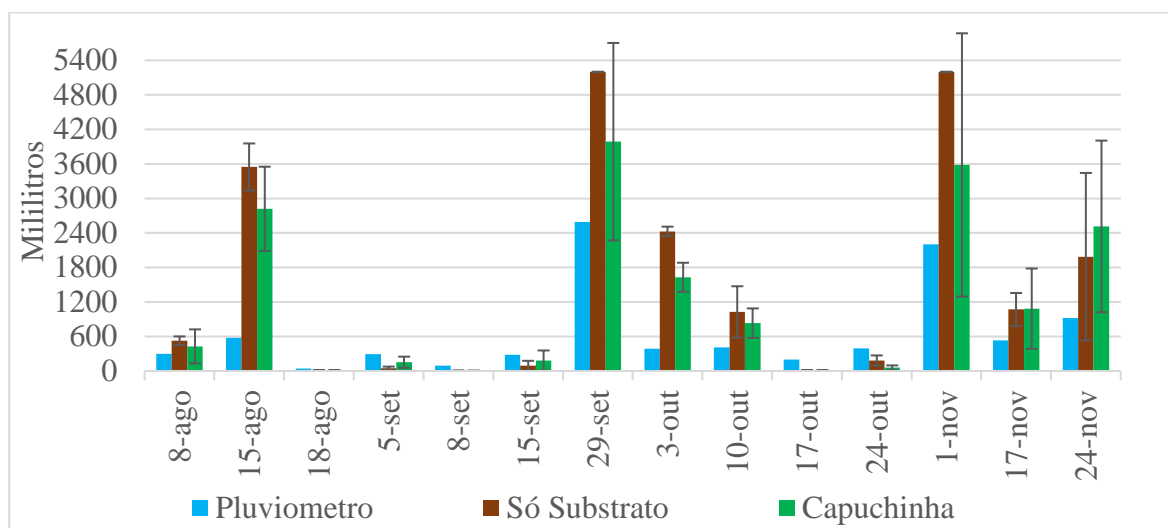
As chuvas foram quantificadas em milímetros, porém a área de captação do pluviômetro e a área de captação das bandejas são diferentes. Para trabalhar na mesma unidade, se fez necessário converter todas as unidades em milímetros de chuva. Através da comparação de milímetros de chuva no pluviômetro e nos protótipos constatou-se que houve retenção hídrica nos substratos, pois na maioria dos eventos de chuva, a altura de chuva com capuchinha e substrato foi menor, por unidade de área de contribuição (Figura 5.16). No gráfico por milímetros, considerou-se a quantidade de chuva recebida nos reservatórios (Figura 5.17).

Figura 5.16 – Altura de chuva no subprojeto 3



Fonte: O autor (2022).

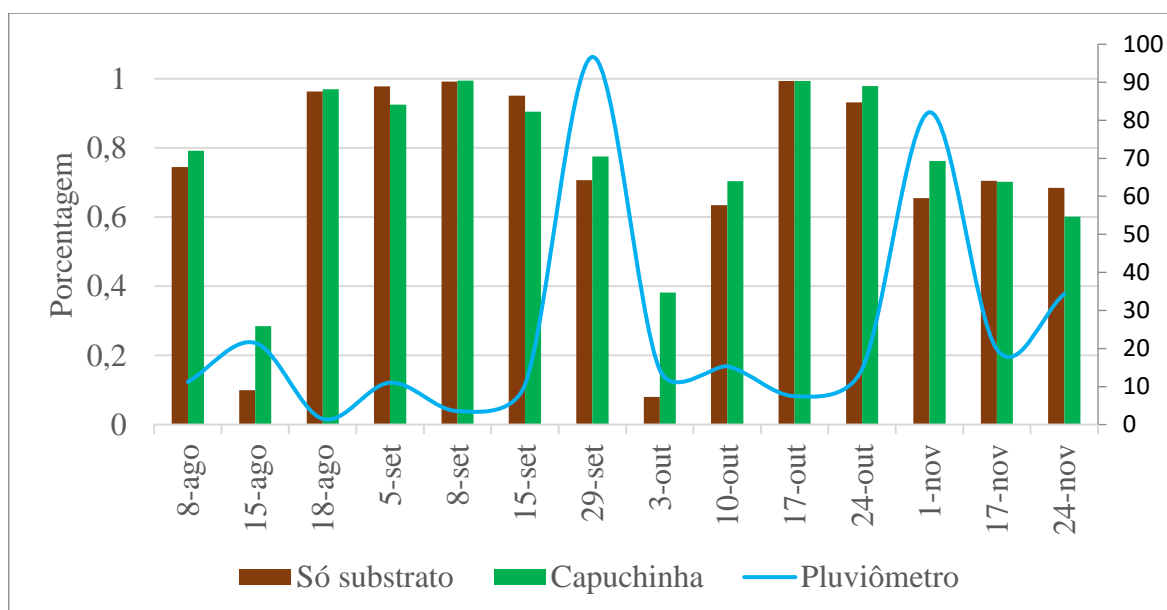
Figura 5.17 – Mililitros de chuva no subprojeto 3



Fonte: O autor (2022).

Para Kolasa-Więcek e Suszanowicz (2021) cerca de 44% da água de chuvas torrenciais é retida nas camadas dos telhados verdes, e para chuvas de até 5mm a água da chuva é completamente retida, tanto em telhados verdes extensivos como intensivos. Quando as chuvas não atingiram 10mm de altura foi constatado na presente pesquisa que não houve escoamento significativo para os reservatórios, endossando a constatação dos citados autores. A taxa média de retenção da água da chuva variou de 7,1% a 99,3% no decorrer do experimento para os protótipos sem capuchinha, e para os protótipos com cobertura vegetal, de 28,4% a 99,4%. É possível verificar que em eventos de chuvas fortes, a capacidade de retenção do sistema é vencida (Figura 5.18).

Figura 5.18 – Porcentagem de retenção de água com linha de milímetros de chuva



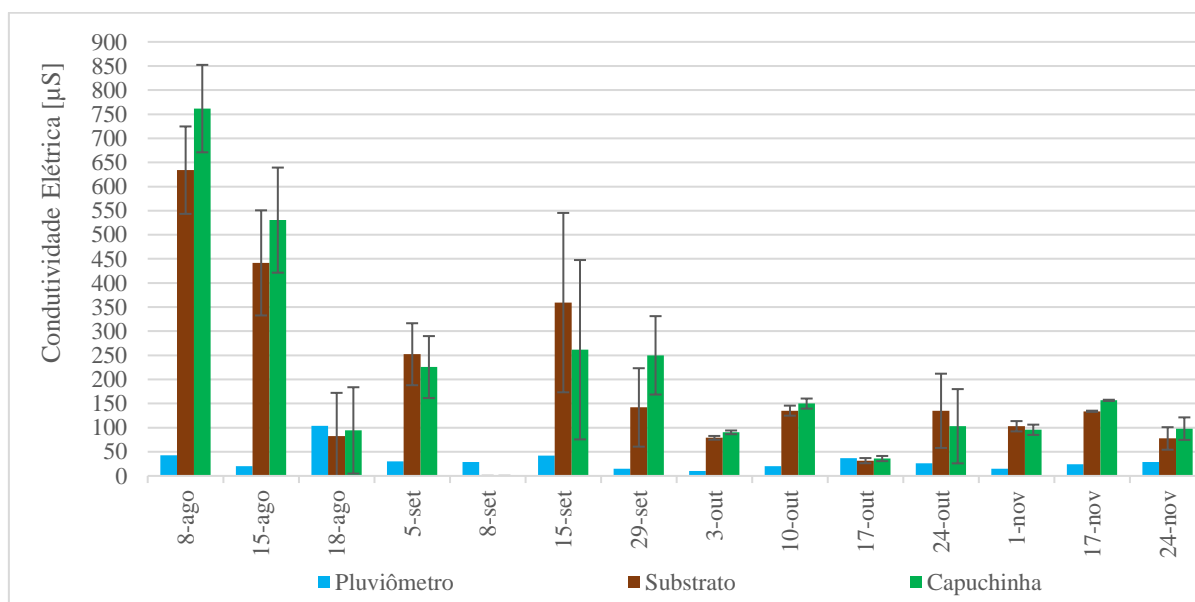
Fonte: O autor (2023).

5.3.2 Da condutividade elétrica.

Considerando os eventos, notou-se que a condutividade elétrica se relacionou à lixiviação de produtos hidrossolúveis. As linhas demonstraram uma alta inicial na condutividade elétrica e em seguida um decaimento (Figura 5.19).

No dia 08/09/2022 não foi possível analisar a condutividade elétrica pela baixa pluviometria, que ocasionou um acúmulo de água que não possibilitou a leitura pelo medidor multiparâmetro. A condutividade elétrica não foi significativamente diferente entre as amostras, porém é possível constatar nas primeiras chuvas uma alta sedimentação de partículas na água que duraram dois eventos. Em cisternas e sistemas de reaproveitamento de água pluvial é comum usar uma saída especial para a primeira água da chuva que contém maior concentração de contaminantes e partículas. Para essa análise, cabe ressaltar que Qianqian *et al.*, (2019) indicam uma maior lixiviação de nitrogênio e de fósforo pelas camadas de substrato nas primeiras chuvas.

Figura 5.19 – Condutividade elétrica



Fonte: O autor (2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao estudar as diferentes disposições das telhas, notou-se que a variação dessas é um fator que pode influenciar o volume de água escoado, bem como a temperatura, que, no entanto, não mostrou ser um parâmetro intensamente afetado pela disposição dos telhados de fibrocimento, até mesmo quando a água permanecia nas telhas viradas 90°. As hipóteses do primeiro subprojeto foram confirmadas para os quesitos de escoamento superficial e temperatura, embora o quesito temperatura tenha sido afetado com pouca intensidade, e refutadas para facilitação do crescimento espontâneo e do enriquecimento da biodiversidade local. Em relação à qualidade da água, conclui-se que o tempo de uso dos telhados pode gerar menor quantidade de partículas químicas na água que escoam das telhas.

Desta forma, conclui-se que devemos caminhar para uma das duas alternativas: ou alterar o tipo de material a ser usado para fabricação de telhas ou, se for usado fibrocimento, que seja colocado algum material, biológico ou não, a fim de colaborar na eficiência do produto (telha) nos quesitos estudados nesta pesquisa, a saber: isolamento térmico, amenizador de picos de cheia, substrato para instalação de espécies de plantas colonizadoras.

A condutividade elétrica da água analisada nos diferentes tipos de telha pode ter sido afetada pelos materiais contidos nas argamassas utilizadas e partículas físico-químicas contidas nas camadas de revestimento das telhas de fibrocimento, portanto deve ser realizada uma outra pesquisa para avaliar melhor essa questão. Os valores de condutividade elétrica das águas provenientes dos telhados verdes se mostraram muito acima dos valores observados das amostras de água da chuva.

É possível constatar que o telhado verde é um método arquitetônico que traz benefícios notórios para as edificações e pode contribuir na diminuição do escoamento superficial. A retenção de água depende de fatores como umidade do substrato e intensidade da chuva, porém para efeitos conclusivos, a hipótese de que a capuchinha pode ser difundida para usos em telhados verdes foi confirmada, exceto pela hipótese de sua adequação à exposição prolongada ao sol, que foi refutada.

O estudo avaliou as diferenças entre protótipos que refletem telhados sem vegetação e telhados com vegetação, e concluiu que para obtenção de benefícios ambientais significativos, como o arrefecimento da temperatura no calor e redução de consumo energético os telhados com vegetação são mais apropriados se comparados aos de substrato. Os protótipos com vegetação mostraram-se mais eficazes na redução da temperatura da superfície do telhado e na absorção de água da chuva, bem como no conforto térmico. Além disso, os protótipos de telhados de substrato não se provaram profícuos para o desenvolvimento de vegetação por geração espontânea.

Em geral, os telhados ecológicos podem contribuir para a sustentabilidade urbana. A hipótese de semeadura ser um método viável de geração de telhados verdes foi refutada, não sendo esta uma forma eficiente para constituição de vegetação em telhados.

Em última análise, a adoção de telhados verdes em áreas urbanas demonstra ser uma solução baseada na natureza valiosa para enfrentar os desafios ambientais como ilhas de calor, alagamentos em zonas urbanas, e melhorar a qualidade de vida nas cidades, através do conforto térmico, em decorrência da sua capacidade de retenção do escoamento superficial em eventos de precipitação, porém é necessário desenvolver formas mais eficazes de filtragem de partículas para que a água que escoam por entre os telhados verdes não seja uma fonte de poluição, por conta da quantidade alta de lixiviação das partículas físico-químicas que compõem os

substratos. Por consequência disso é aconselhado estudar melhores opções de camadas de filtração e tipos de substratos que possam escoar a água mais límpida para evitar a contaminação da água com sólidos suspensos e partículas físico-químicas que podem ser nocivas ao meio ambiente.

Os projetos com substrato e vegetação ainda podem gerar estudos futuros e pesquisas mais avançadas na área de alcance dos benefícios térmicos, bem como na área de desenvolvimento de processos de filtração das partículas, retenção de nutrientes no solo, eficiência na retenção do escoamento superficial, estrutura das telhas, baixa sedimentação do substrato na água e temperatura a nível de pedestres, bem como sua influência na mitigação de ilhas de calor.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABASS, F.; ISMAIL, L. H.; A WAHAB, I.; A ELGADI, A. A Review of Green Roof: definition, history, evolution and functions. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 713, n. 1, p. 1-9, 1 jan. 2020. IOP Publishing.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/713/1/012048>. Acesso em: 15 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15210-1: Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Parte 1 – Classificação e requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BARYIA, A.; KARCZMARCZYK, A.; BUS, A.; HEWELKE, E. Influence of environmental factors on retention of extensive green roofs with different substrate composition. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 86, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198600026>. Acesso em: 8 ago. 2023.

BERGAMIN BOCARDI, J. M.; PLETSCH, A. L.; ROCHA, A. S.; QUINAIA, S. P. Parâmetros Físicos e Químicos de Referência em Solos de Unidades de Conservação Florestal da Bacia do Paraná 3, Brasil (Physical and Chemical Parameters of Reference Soils in Forest Conservation Units of the Paraná Basin 3, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 099-113, fev. 2018. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234211>. Acesso em: 01 out. 2022. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p099-113>.

BEATRICE, C. C. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. doi:10.11606/D.18.2011.tde-22092011-151752. Acesso em: 2023-01-11.

BOETTGER, G.C.; MARTINS, P.M. **Estudo comparativo entre telhas onduladas de fibrocimento e telhas onduladas ecológicas**. 2018. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018.

BORGES, H. H. S. **A utilização do telhado verde na construção civil como alternativa para diminuição dos impactos ambientais**. 2018. 74 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Resolução 357. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 07 nov. 2023.

BUTLER, D.; DIGMAN, C. J.; MAKROPOULOS, C.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. 4. ed. Florida: CRC Press, 2018. Disponível em: <http://opac.lib.idu.ac.id/unhan-ebook/assets/uploads/files/f22cc-urban-drainage->

fourth-edition-by-butler-david-davies-john-w.-james-digman-christopher-makropoulos-christos-z-lib.org-_compressed-1-.pdf. Acesso em: 19 set. 2021.

CANABRAVA NETO, G.; ALMEIDA, K.; LEITE, R.; GUARIENTI, A.; DE ALMEIDA, K. Telhado verde: alternativa sustentável para a drenagem do escoamento superficial. 2021. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 125–136. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.125-136. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4338>. Acesso em: 5 dez. 2022.

CÉSAR, I. M. de S.; MOTA, A. M. V.; COSME, A. M. F.; MARINHO BORGES, I. ILHAS DE CALOR URBANAS: UMA ANÁLISE DO BAIRRO DE MANAÍRA, JOÃO PESSOA-PB. **Journal of Ecoinnovation and Environmental Management**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 16–30, 2023. Disponível em: <https://editoraverde.org/portal/revistas/index.php/ecoin/article/view/204>. Acesso em: 13 nov. 2023.

CHO, A.; SANYAL, H.; CATALDO, J.; Study of Storms on the Javits Center Green Roof. **International Journal of Civil and Environmental Engineering**, Estados Unidos, Vol 17, nº 1, p. 1-5, 2023. Disponível em: <https://publications.waset.org/10012904/study-of-storms-on-the-javits-center-green-roof>. Acesso em: 7 ago. 2023.

COOK, L. M.; LARSEN, T. A. Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: an interdisciplinary review. **Building And Environment**, [S.L.], v. 188, p. 1-14, jan. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107489>. Acesso em: 08 ago. 2023

DE ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 23, n. 3, 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684>. Acesso em: 28 abr. 2023.

FEITOSA, R. C. **Uso de sistemas modulares vegetados para promoção da saúde urbana e atenuação do estresse térmico**. Saúde em Debate. Fap UNIFESP (SciELO), 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019S308>>. Acesso em: 13/10/2022

GOMES, Y. R. M. **Telhado verde em clima tropical úmido: investigação da qualidade da água**. 2019. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/34506/1/DISSERTA%20c3%87%20Yan%20Ranny%20Machado%20Gomes.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

GONG, Y.; ZHANG, X.; LI, H.; ZHANG, X.; HE, S.; MIAO, Y. A comparison of the growth status, rainfall retention and purification effects of four green roof plant species. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 278, p. 1-10, jan. 2021. Elsevier BV.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111451>. Acesso em: 15 ago. 2023.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KARCZMARCZYK, A.; BARYŁA, A.; FRONCZYK, J.; BUS, A.; MOSIEJ, J. Phosphorus and Metals Leaching from Green Roof Substrates and Aggregates Used in Their Composition. **Minerals**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 1-11, 28 jan. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/min10020112>. Acesso em: 21 ago. 2023.

KINKADE-LEVARIO, H. **Design for water: Rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse**. Gabriola Island: New Society, 2007. Missouri Botanical Garden - Plant Finder. *Tropaeolum majus* L. Disponível em: <http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=264612&isprofile=0> &. Acesso em: 21 nov. 2022.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual review of plant biology**, v. 46, n. 1, p. 237-260, 1995. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.46.060195.001321?journalCode=arplant.2>. Acesso em: 28 abr. 2023.

KOLASA-WIĘCEK, A.; SUSZANOWICZ, D. The green roofs for reduction in the load on rainwater drainage in highly urbanised areas. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 26, p. 34269-34277, 1 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-12616-3>. Acesso em: 14 ago. 2023.

LEITE, F. R.; ANTUNES, M. L. P. Green roof recent designs to runoff control: a review of building materials and plant species used in studies. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 189, p. 1-15, abr. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106924>. Acesso em: 15 ago. 2023.

LIMA FILHO, O. F. **Desordens nutricionais em plantas**. Embrapa Agropecuária. 2020. Dourados, MS. (Comunicado Técnico 257). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212689/1/COT-257-2020.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2023.

LIU, W.; WEI, W.; CHEN, W.; DEO, R. C.; SI, J.; XI, H.; LI, B.; FENG, Q. The impacts of substrate and vegetation on stormwater runoff quality from extensive green roofs. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 576, p. 575-582, set. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.061>. Acesso em: 14 ago. 2023.

LOPES, D. A. R. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/D.18.2007.tde-11122007-093813. Acesso em: 26 abr. 2023.

MA, M.; WANG, J.; GARG, A.; MEI, G. Experimental and numerical investigation on runoff reduction and water stress of green roofs with varying soil depth and saturated water content under dry–wet cycles. **Acta Geophysica**, [S.L.], v. 71, n. 2, p. 893-903, 5 out. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11600-022-00918-0>. Acesso em: 10 ago. 2023.

MENDES, W. D.; SOBRINHO, C. A. M. .; MARTINS, W. S. .; MURAISHI, C. T. .; SOUZA, M. P. de .; ADAMS, G. S. .; SILVA, I. M. da .; OLIVEIRA, A. G. de .; PEREIRA, D. D. .; CARVALHO, L. C. de . The effect of phosphorus solubilizing bacteria on soybean cultivation in Brazil: a literature review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 16, p. e65111637828, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i16.37828. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37828>. Acesso em: 28 apr. 2023.

MENEGAES, Janine Farias; BACKES, Fernanda Alice Antonello Londero. Plantas bioativas para uso no paisagismo. **Revista Eletrônica Científica da Uergs**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 41-49, 26 abr. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.71.41-49>. Acesso em: 27 ago. 2023.

MORAIS, B. R.; MÉNDEZ-QUINTERO, J. D.; MACEDO, D. R.; NERO, M. A. Os telhados verdes nas políticas ambientais e como medida mitigadora das inundações urbanas: uma revisão sistemática. 2021. **Labor E Engenharia**, 15(00), e021018. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/labore.v15i00.8663910>>. Acesso em: 14 out. 2022.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados Verdes Para Habitações de Interesse Social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OSORIO, N.W. pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. **Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal**, Medellín, v. 1, n. 4, 30 abr. 2012. Disponível em: <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>. Acesso em: 1 out. 2022.

PAIVA, P. J. C.; NICODEMO, M. L. F. **Enxofre no sistema solo-planta-animal**. São Paulo: EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. 48 p. v. 1. ISBN 8529700236. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/319939/1/Enxofrenosistemasoloplanta.pdf>. Acesso em: 3 out. 2022.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. e. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, p. 435-456, 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993x>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/f45JMMTdfXvPWLmM6mbDX6K/?format=pdf&lang=pt#:~:text=N%C>

3%A3o%20existe%20um%20padr%C3%A3o%20de,at%C3%A9%201000%20%CE%BCS%20cm%2D1..
Acesso em: 30 out. 2023.

POLO-LABARRIOS, M. A.; QUEZADA-GARCÍA, S.; SÁNCHEZ-MORA, H.; ESCOBEDO-IZQUIERDO, M. A.; ESPINOSA-PAREDES, G. Comparison of thermal performance between green roofs and conventional roofs. **Case Studies In Thermal Engineering**, [S.L.], v. 21, p. 1-12, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100697>. Acesso em: 08 ago. 2023.

POUR, S. H.; WAHAB, A. K. A.; SHAHID, S.; ASADUZZAMAN, M.; DEWAN, A. Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: current trends, issues and challenges. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 62, p. 1-14, nov. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373>. Acesso em: 10 ago. 2023.

QIANQIAN, Z.; LIPING, M.; HUIWEI, W.; LONG, W. Analysis of the effect of green roof substrate amended with biochar on water quality and quantity of rainfall runoff. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 191, n. 5, p. 1-11, 25 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-7466-4>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7466-4>. Acesso em: 13 nov. 2023.

RIOS, M. **Telhado verde: uma estratégia para as cidades sustentáveis**. II Encontro Nacional dos GTMA's. 2016. Fortaleza. Disponível em: <https://docplayer.com.br/67772282-Ii-encontro-nacional-dos-gtma-s-telhado-verde-uma-estrategia-para-as-cidades-sustentaveis-eng-civil-marcio-rios-apoio-realizacao.html>. Acesso em: 26 out. 2022.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa. 2010. Campinas, SP. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em 28 abr. 2023.

SANTOS, C. P. **Análise de retenção do escoamento superficial e desempenho térmico de telhado verde extensivo sobre telhado de fibrocimento**: 2019. Dissertação de Mestrado, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Pato Branco, 2019.

SARAEIAN, Z.; FARRELL, C.; WILLIAMS, N. S.G. Green roofs sown with an annual plant mix attain high cover and functional diversity regardless of irrigation frequency. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 73, p. 1-11, jul. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127594>. Acesso em: 08 ago. 2023.

SCHUTZER, J. G. **Infraestrutura verde no contexto da infraestrutura ambiental urbana e da gestão do meio ambiente**. Revista LABVERDE. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação

Acadêmica (AGUIA), 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i8p12-30>. Acesso em: 5 jun. 2023.

SCHUTZER, T. P.; GHISI, E. Life cycle assessment of green roofs: a literature review of layers materials and purposes. **Science Of The Total Environment**, [S.I.], v. 829, p. 1-11, jul. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154650>. Acesso em: 7 ago. 2023.

SILVA, K. C. da. **Qualidade da água pluvial coletado em telhados de edificações para consumo residencial**. Orientadora: Paula Cristina Souza. 2018. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CAMPO MOURÃO, 2018. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6175/1/aguapluvialconsumoresidencial.pdf>.

SILVA, N. L. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa/ PB.**, 2015 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8133/2/arquivo%20total.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

SILVA, P. G. da; OLIVEIRA, A. K. M. de; MATIAS, R.; PEDRINHO, D. R. Germinação e crescimento inicial de capuchinha em diferentes condições de cultivo. **Revista Brasileira de Agroecologia**. V. 13, n. 5, p. 239-246, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/ademir-oliveira/publication/341828886_germinacao_e_crescimento_inicial_de_capuchinha_em_diferentes_condicoes_de_cultivo/links/5f3a8e2f299bf13404cb441e/germinacao-e-crescimento-inicial-de-capuchinha-em-diferentes-condicoes-de-cultivo.pdf. Acesso em 01 out. 2022.

TABARES-CATIMAY, J.; GALLO-MARTÍNEZ L. M.; MANCIPE-MUÑOZ, N. A. Modelación del desempeño hidrológico de techos verdes en ciudades andinas tropicales usando SWMM. 2019. **Producción+ Limpia**, 14(1), pp. 46-60. Disponível em: <https://doi.org/10.22507/pml.v14n1a2>. Acesso em: 14 out. 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém...[*et al.*] 3. ed. Porto Alegre: Artmes, 2004. 720p.

TAMS, L.; NEHLS, T.; CALHEIROS, C. S. C. Rethinking green roofs- natural and recycled materials improve their carbon footprint. **Building And Environment**, [S.L.], v. 219, p. 109122, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109122>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132322003596?via%3Dihub>. Acesso em: 03 ago. 2023.

TAN, K.; WANG, J. Substrate modified with biochar improves the hydrothermal properties of green roofs. **Environmental Research**, [S.L.], v. 216, p. 1-12, jan. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2022.114405>. Acesso em: 14 ago. 2023.

TONIETTO, T. **Telhado verde e telhado frio e suas contribuições para a redução da temperatura ambiente em construções na cidade de Cascavel no Oeste do estado do Paraná.** 2021. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2021.

TUCCI, C. E. M; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. D. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: da Universidade / UFRGS: ABRH, 1995. 482 p. (Coleção ABRH de recursos hídricos 5) ISBN 85-7025-364-8

VALLE, L. D; CASTELLI, K.R; BARRETO, M. G; LACLAU, J; FELIPE, M. S; SILVA, A. M. Soil Quality Attributes in Forest Stands: Influence of Techniques Ecological Restoration. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 2, p. 209–227, 20 dez. 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2018.1559329>>. Acesso em: 01.out.2022.

VIEIRA, Z. C.; ALMEIDA, K. S.; ALBUQUERQUE, E. F. de. Influência de telhados verdes pré-moldados na redução e retardo do escoamento em precipitações intensas. **BJAER - Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv3n3-111>. Acesso em 21 fev. 2022.

VIEIRA, Z. C.; SANTOS, S. C. dos; SILVA, G. B. da; ALMEIDA DANTAS, K. S.; ALBUQUERQUE, E. F. de. Simulação do uso de telhados verdes prontos para atenuação de enchentes urbanas: o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe como estudo de caso. *Revista Tecnologia*, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 1–13, 2018. DOI: 10.5020/23180730.2018.8014. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/8014>. Acesso em: 02 out. 2023.

VIEIRA, Z. C.; SILVA JÚNIOR, C. G. da; DOS SANTOS, S. C. Adoção de IPTU verde como forma de incentivo a implantação de telhados verdes em Aracaju – SE. **Brazilian Applied Science Review**, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 3949–3958, 2020. DOI: 10.34115/basrv4n6-049. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/21685>. Acesso em 26 abr. 2023.

VILLANUEVA, A.; TASSI, R.; PICCILLI, D.; BEMFICA, D.; TUCCI, C. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 5-18, 2011. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v8n1.p5-18>. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/77/73df4ffae7c67637fed63d1dc71dc43e_834c8074f62eefdeb0e9f8057c372154.pdf. Acesso em: 05 out. 2023.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

WANG, J.; GARG, A.; HUANG, S.; MEI, G.; LIU, J.; ZHANG, K.; GAN, L. The rainwater retention mechanisms in extensive green roofs with ten different structural configurations. **Water Science and Technology**, [S.L.], v. 84, n. 8, p. 1-19, 22 set. 2021. IWA Publishing.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2021.413>. Acesso em: 10 ago. 2023.

WANG, X.; LI, H.; SODOUDI, S. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. **Building And Environment**, [S.L.], v. 217, p. 1-9, jun. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082>. Acesso em: 15 ago. 2023.

WERDIN, J.; CONN, R.; FLETCHER, T. D.; RAYNER, J. P.; WILLIAMS, N. S. G.; FARRELL, C. Biochar particle size and amendment rate are more important for water retention and weight of green roof substrates than differences in feedstock type. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 171, p. 1-11, nov. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106391>. Acesso em: 15 ago. 2023.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in Plants. **Annals of Botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, Oct. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>. Acesso em: 28 abr. 2023.

YANG, B.; LEE, D. Urban Green Space Arrangement for an Optimal Landscape Planning Strategy for Runoff Reduction. **Land**, [S.L.], v. 10, n. 9, p. 1-12, 25 ago. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/land10090897>. Acesso em: 14 ago. 2023.

YAZDANFAR, Z.; SHARMA, A. Urban drainage system planning and design – challenges with climate change and urbanization: a review. 2015. **Water Science and Technology**, 72(2), 165–179. doi:10.2166/wst.2015.207

ZARDO, A.; OTENIO, J.K.; LOURENÇO, E.L.B.; GASPAROTTO-JÚNIOR, A.; JACOMASSI, E. Levantamento de informações etnobotânicas, etnofarmacológicas e farmacológicas registradas na literatura sobre *Tropaeolum majus* L. (Chaguinha). 2016. **Arquivos de Ciência e Saúde da UNIPAR**, v. 20, n. 3, p. 195-198.

ZHENG, X.; KONG, F.; YIN, H.; MIDDEL, A.; YANG, S.; LIU, H.; HUANG, J. Green roof cooling and carbon mitigation benefits in a subtropical city. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 86, p. 128018, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866723001899>. Acesso em: 03 ago. 2023.

ZHU, W., YANG, J., YAO, R., WANG, X., XIE, W., & LI, P. (2021). Nitrate leaching and NH₃ volatilization during soil reclamation in the Yellow River Delta, China. **Environmental Pollution**, 286, 117330. Acesso em: 22 ago. 2023

ZUO, J.; MA, J.; LIN, T.; DONG, J.; LIN, M.; LUO, J. Quantitative valuation of green roofs' cooling effects under different urban spatial forms in high-density urban areas. **Building And Environment**, [S.L.], v. 222, p. 1-10, ago. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109367>. Acesso em: 15 ago. 2023.

Anexo II

IDEAL Análises Agrícolas e Técnicas Ltda
 Registrado no C.R.Q. N° 29.417-F - 4ª Região



N°Laudo	Entrada	Emissão	Mat. Analizado	Página
0607	01/08/2022	09/08/2022	Solo	1 de 1

Solicitante:

Interessado:

Matheus Marinho R. Carlos Malheiros Oettere, 367 Sorocaba - SP	Matheus Marinho
---	------------------------

N° Lab	Identificação da (s) Amostra (s)
1432	Am. 01 com
1433	Am. 02 sem

Determinações			Resultado (s) da (s) Amostra (s)											
N° do Laboratório			1432	1433	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	pH	CaCl2	6,7	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M.O	Mat. Orgânica	g/dm³	49	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	Fósforo	mg/dm³	289	113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	Potássio	mmolc/dm³	13,8	8,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	Cálcio	mmolc/dm³	158	177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	Magnésio	mmolc/dm³	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al	H+Al	mmolc/dm³	13	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	Alumínio	mmolc/dm³	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB	Soma de Bases	mmolc/dm³	199	213	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC	C.T. Cations	mmolc/dm³	212	224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V%	Sat. por Bases	%	94	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m%	Sat. por Al	%	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-SO4	Enxôfre	mg/dm³	7	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K/CTC	% de K na CTC		6,5	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca/CTC	% de Ca na CTC		74,6	79,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg/CTC	% de Mg na CTC		12,7	12,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K/Ca	K/Ca		0,1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K/Mg	K/Mg		0,5	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca/Mg	Ca/Mg		5,9	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Metodologia Utilizada

P - K - Ca - Mg = Resina

B - H2O Quente

SO4 - Fosfato Monocalcio 0,01M Relação 1:2,5

Cu - Fe - Mn - Sn - Extração p/ DTPA

Responsável: MARIA SALETE DE BRITO BASSETO

C. R. Q. N° 04405780

4ª Região

Assinatura

R. Guilherme Penha, 75 - bloco 3 - Vila Colorau - CEP: 18020-615 / Fone: (15) 3227 1120 - Sorocaba - SP

Anexo IV

IDEAL Análises Agrícolas e Técnicas Ltda
 Registrado no C.R.Q. N° 29.417-F - 4ª Região



N°Laudo	Entrada	Emissão	Mat. Analisado	Página
0942	30/11/2022	05/12/2022	Solo	1 de 1

Solicitante:

Interessado:

Matheus Marinho R. Carlos Malheiros Oettere, 367 Sorocaba - SP	Matheus Marinho
---	------------------------

N° Lab	Identificação da (s) Amostra (s)
2279	Com semente
2280	Sem semente

Determinações			Resultado (s) da (s) Amostra (s)											
N° do Laboratório			2279	2280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	pH	CaCl2	6,0	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M.O	Mat. Orgânica	g/dm³	29	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	Fósforo	mg/dm³	28	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	Potássio	mmolc/dm³	4,8	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	Cálcio	mmolc/dm³	120	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	Magnésio	mmolc/dm³	19	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al	H+Al	mmolc/dm³	22	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	Alumínio	mmolc/dm³	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB	Soma de Bases	mmolc/dm³	144	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTC	C.T. Cations	mmolc/dm³	166	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V%	Sat. por Bases	%	87	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m%	Sat. por Al	%	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-SO4	Enxofre	mg/dm³	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K/CTC	% de K na CTC		2,9	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca/CTC	% de Ca na CTC		72,4	69,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg/CTC	% de Mg na CTC		11,5	11,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K/Ca	K/Ca		0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K/Mg	K/Mg		0,3	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca/Mg	Ca/Mg		6,3	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Metodologia Utilizada

P - K - Ca - Mg = Resina

B - H2O Quente

SO4 - Fosfato Monocalcio 0,01M Relação 1:2,5

Cu - Fe - Mn - Sn - Extração p/ DTPA

Responsável: MARIA SALETE DE BRITO BASSETO
 C. R. Q. N° 04405780
 4ª Região

Maria S. Basseto
 Assinatura

R. Guilherme Penha, 75 - bloco 3 - Vila Colorau - CEP: 18020-615 / Fone: (15) 3227 1120 - Sorocaba - SP