18° ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL

BELO HORIZONTE - MG
11 - 14 / AGOSTO

PAISAGENS EM DIÁLOGOS
TERRITÓRIOS, MEMÓRIAS E NATUREZAS

ENEPEA 2026

USO DE TELHADOS VERDES PARA DIMINUIR VAZÃO EM GALERIAS PLUVIAIS

Estudo de caso do córrego Belini em São Paulo

ST1 – Paisagens e naturezas

USE OF GREEN ROOFS TO REDUCE FLOW IN STORM DRAINAGE SYSTEMS

Case study of the Belini Stream in São Paulo

VEDOLIN, Daniele Cristine Candida dos Santos Vedolin Mestranda em Arquitetura e Urbanismo | FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP | São Paulo, SP, Br | daniele.vedolin@gmail.com | ORCID: 0009-0008-4285-0333

RESUMO

As modificações ao longo dos últimos séculos nos sistemas de drenagem da cidade de São Paulo junto com o crescimento da urbanização e impermeabilização do território não permite que a água das precipitações seja devidamente infiltrada no solo e escoada totalmente até o sistema de drenagem. Os telhados verdes são uma forma de infraestrutura verde e azul, soluções de engenharia que mimetizam a natureza, onde uma camada vegetal é acrescida sobre o sistema de cobertura de edificações e a água da chuva é retida nos vazios do solo. Neste trabalho foi calculado de forma teórica, a quantidade de água de precipitações retida em um lote na sub-bacia do córrego Belini na bacia do Rio Pinheiros na Cidade de São Paulo. Os cálculos demonstram que a implementação de telhado verde em um único lote (especificamente o Lote 0001 da quadra 092, 17465,60m² que representam 0,87% da área de drenagem da bacia) reduziram em 23% de um reservatório de retenção calculado para a mesma área de telhado.. Conclui-se que visando melhorar a vazão que não é suportada pelas galerias existentes, recomenda-se que o caderno de drenagem em questão proponha mais SbN e menos intervenções de Infraestrutura cinza como Polders, aumento de sessões de galerias pluviais existentes que são indicadas como soluções mitigadoras. Mudando o conceito de que a água excedente das chuvas deve ser escoada para longe, gerando mais acúmulo de água a jusante, e visando na infiltração de água no solo, recuperamento do volume do lençol freático, diminuição na vazão e velocidade da água superficial e preservando a paisagem (natural e antrópica).

Palavras-chave: telhado verde; alagamento; vazão, galerias pluviais, soluções baseadas na natureza.

ABSTRACT

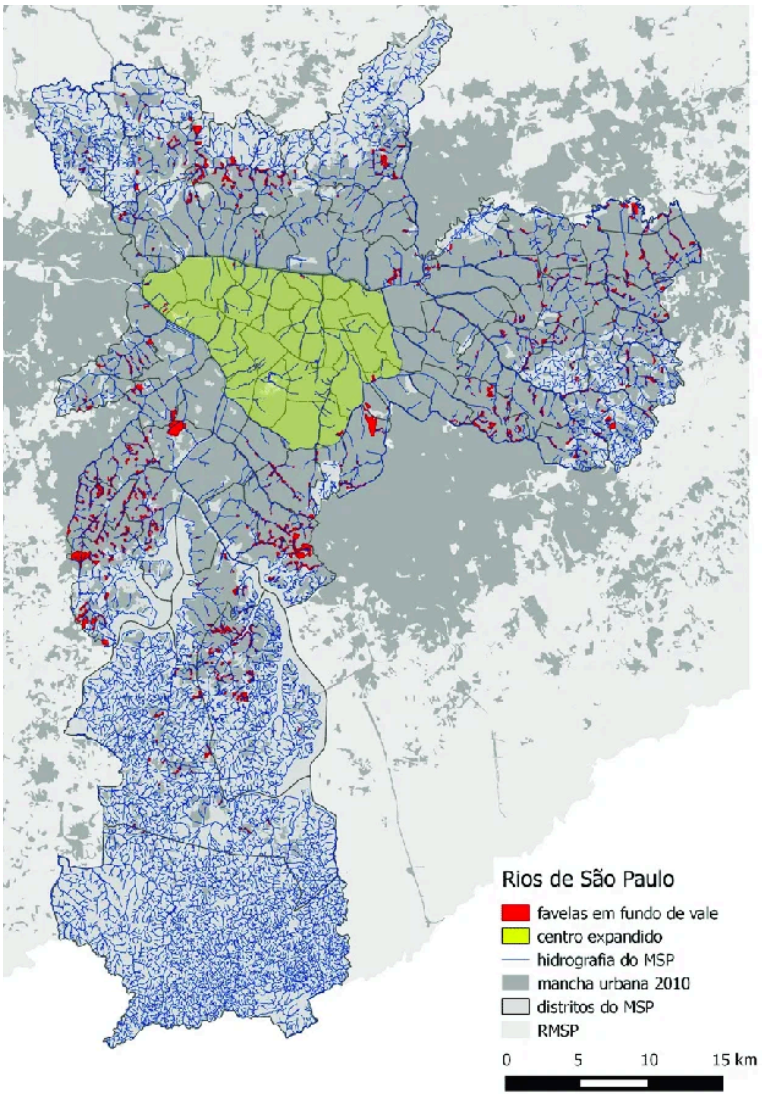
The modifications made to the drainage systems of the city of São Paulo over the last few centuries, along with the growth of urbanization and the waterproofing of the territory, prevent rainwater from properly infiltrating the soil and draining completely into the drainage system. Green roofs are a form of green and blue infrastructure, engineering solutions that mimic nature, where a layer of vegetation is added over the roof system of buildings and rainwater is retained in the voids of the soil. In this work, the amount of rainwater retained in a plot of land in the Belini stream sub-basin in the Pinheiros River basin in the city of São Paulo was theoretically calculated. Calculations demonstrate that implementing a green roof on a single lot (specifically Lot 0001 of block 092, 17465.60 m², representing 0.87% of the basin's drainage area) reduced the calculated retention reservoir capacity by 23% for the same roof area. It is concluded that, aiming to improve the flow rate not supported by existing drainage systems, it is recommended that the drainage plan in question propose more nature-based solutions (NbS) and fewer gray infrastructure interventions such as polders, and increasing the length of existing stormwater drainage galleries, which are indicated as mitigating solutions. This shifts the concept that excess rainwater should be drained far away, generating more water accumulation downstream, and aims instead for water infiltration into the soil, recovery of groundwater volume, reduction in surface water flow and velocity, and preservation of the landscape (both natural and anthropogenic).

Keywords: *green roof; flooding; flow rate; storm drains,* nature based solutions

1 INTRODUÇÃO

As áreas urbanas já abrigam mais de 55% da população mundial e segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) esse número deve crescer para 68% até 2050 (ONU, 2022). Com o crescimento da população as cidades também crescem geograficamente aumentando sua área e apresentando diversos problemas de infraestrutura como a localização de novas construções habitacionais em chamadas áreas de risco, captação de recursos e destinação de resíduos para áreas mais distantes, alagamentos entre outros problemas. As mudanças climáticas afetam a disponibilidade de água, o aquecimento global está agravando o período de secas afetando tanto regiões agrícolas como áreas urbanas (ONU, 2023). O município de São Paulo seguiu os mesmos padrões sendo a maior cidade da América do Sul (CityMonitor, 2023) e, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)apresenta 1.521,202km² de território, embora apresente apenas 914,56 km² de áreas urbanizadas (IBGE, 2023). Atualmente, a conurbação da região metropolitana de São Paulo possui 39 cidades com uma população de 21,9 milhões de habitantes. (Talarico, 2023)

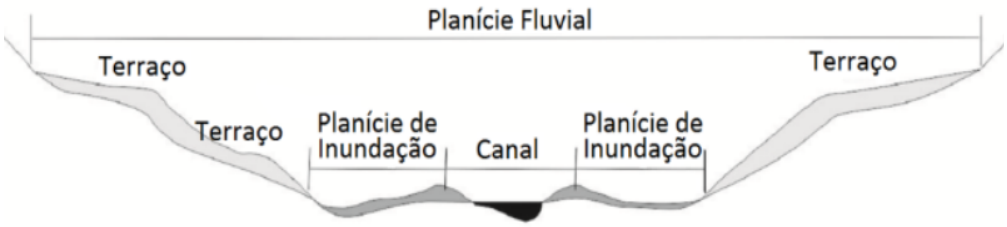
Figura 1 - Mapa de São Paulo destacando a rede hídrica.



Fonte:Travassos, Penteado e Fortunato, I. (2017).

Segundo Faber (2011), o desenvolvimento de cidades aconteceu predominantemente a margens de rios que ofereciam água potável para agricultura, para os membros da tribo e para os seus animais. Conforme Luz e Rodrigues (2020) é preciso distinguir que a chamada margem do rio é um complexo geomorfológico fluvial composto por canal fluvial, bacia de inundação (também denominada várzea) e terraços exemplificados na Figura 2.

Figura 2 - Composição de uma planície fluvial



Fonte: Luz e Rodrigues, 2020.

Originalmente estes córregos eram rios de planícies em regiões de clima úmido tropical que apresentavam-se sinuosos, cheio de meandros com presença de lagos, ferraduras e uma vasta planície de inundação.Na década de 1850, após a expansão da cultura cafeeira e, em seguida, da industrialização, a população da cidade de São Paulo passou de 15 mil para 580 mil habitantes. Em 1920 e as áreas úmidas e alagadiças das várzeas começaram a ser ocupadas. Com o crescimento da população, aumentou o consumo de água e também a geração de esgoto, que no ano de 1887 já era despejado nas várzeas dos rios da cidade, causando problemas sanitários (Ferraz, Abreu e Scarpelin, 2009). A figura 3 mostra uma foto do rio Pinheiros antes de sua retificação e canalização.

Figura 3 - Foto aérea do Rio Pinheiros em 1920

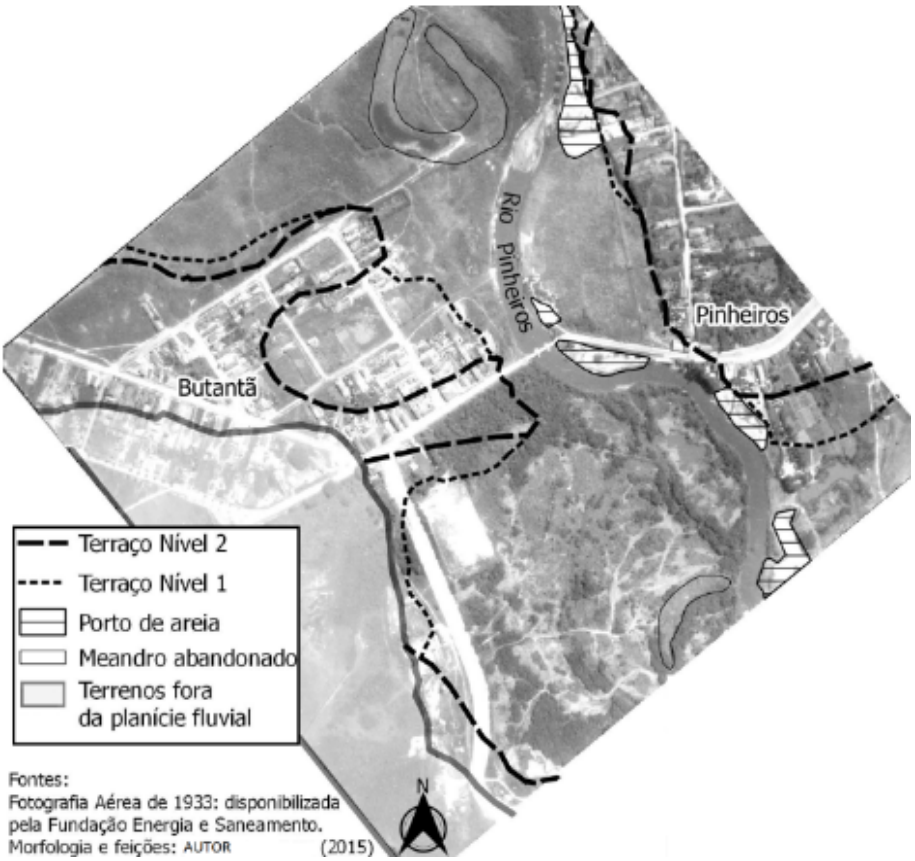


Fonte: Jacob, 2015.

Duas propostas foram discutidas para resolver o problema e ao mesmo tempo modernizar a cidade de São Paulo. O engenheiro Sanitarista Saturnino de Brito propôs recuperar a várzea em

seu estado natural criando uma série de parques alagáveis e com lagos nos encontros entre rios. A outra proposta antagônica elaborada pelo Engenheiro Prestes Maia era um plano de avenidas radiocêntricas nas margens e fundo de vale dos rios. Em 1938 Prestes Maia é eleito prefeito e as áreas úmidas e alagadiças foram desapropriadas por preços baixos, aterradas fomentando a indústria automobilística no Brasil. A figura 4 mostra um pedaço do Rio Pinheiros na altura do bairro Butantã, destacando a morfologia da planície de inundação.

Figura 4 - Morfologia Rio Pinheiros

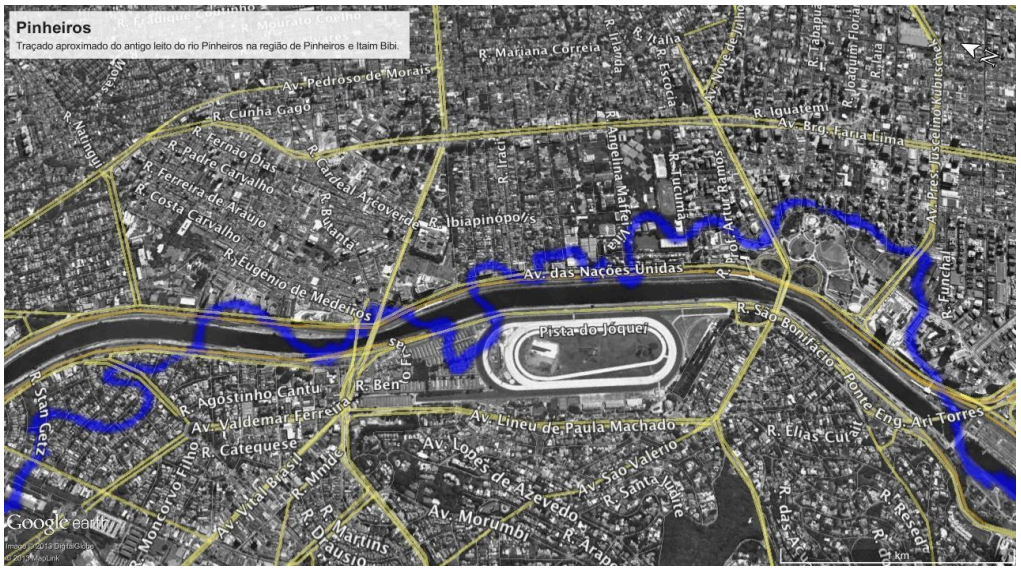


Fonte: Luz e Rodrigues 2020.

A urbanização da planície fluvial do Rio Pinheiros começou no início do século XIX junto com a expansão industrial da cidade. Segundo Luz e Rodrigues (2020), foram feitas construções de reservatórios e sistemas de drenagem, retificação e ampliação da seção transversal de canais fluviais, construção de margens e diques artificiais, disposição de aterros sobre planícies de inundação e a ocupação generalizada de terrenos originalmente ocupados por inundações.

Essas intervenções resultaram na redução da capacidade original de atenuação das cheias, para compensar aumentou-se a área de seção transversal do canal. Luz cita que “como resultado das intervenções, a planície de inundação e os baixos terraços deixaram de ser habitualmente inundados por extravasamento do canal, e seu solo, que antes era úmido, foi drenado. Um conturbado processo de especulação imobiliária marcou a urbanização desses terrenos.” A Figura 5 mostra o comparativo do curso natural do Rio Pinheiros e do curso retificado

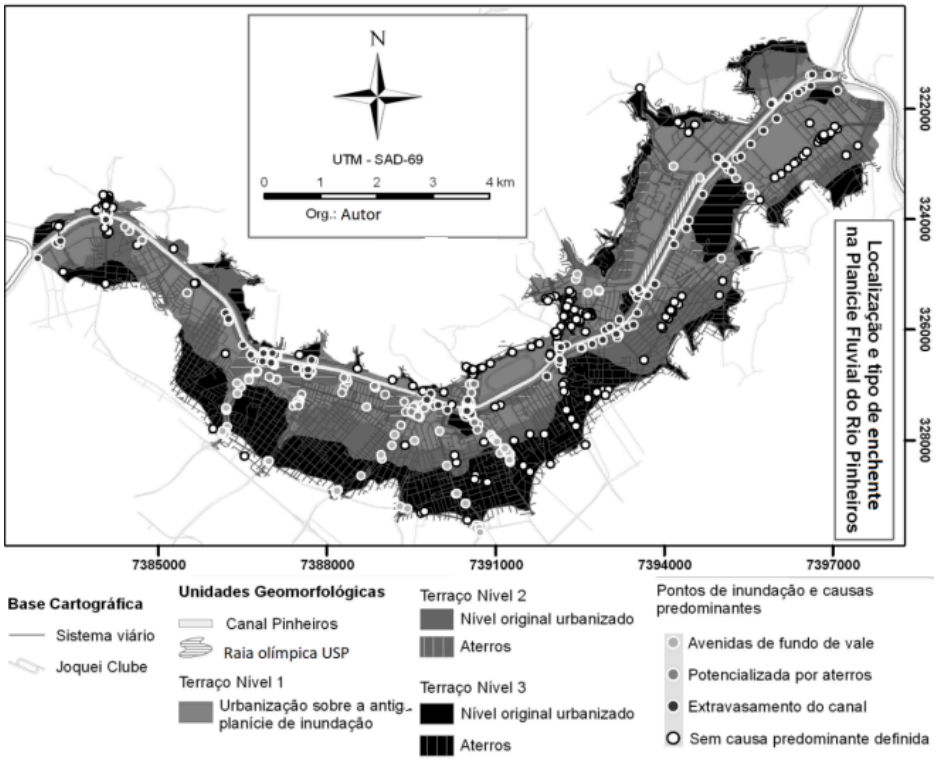
Figura 5 - Curso Natural do Rio Pinheiros sobreposto com o curso modificado



Fonte: Mendonça e Carnevskis, 2020.

Mesmo com essas intervenções o sistema não suporta os picos de vazões gerados pela bacia altamente urbanizada. A figura 6 mostra um levantamento da pesquisa de Luz e Rodrigues (2020) apud FUSP (2009) destacando a área de urbanização na antiga várzea do rio.

Figura 6 - Morfologia do Rio Pinheiros



Fonte: Luz e Rodrigues, 2020.

As modificações ao longo dos últimos séculos nos sistemas de drenagem da cidade de São Paulo junto com o crescimento da urbanização e impermeabilização do território não permite que a água das precipitações seja devidamente infiltrada no solo e escoada totalmente até o sistema de drenagem. Tais eventos podem ser divididos em: Alagamentos, enchentes e inundações. A figura 7 a seguir mostra a diferença entre eles.

Figura 7 - Diferença entre alagamento, enchente e inundação.



Fonte: SEMASA,2015.

Para gerenciar o crescimento e ocupação da cidade, foi elaborado em 2014 o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (PDE) (SÃO PAULO, 2014) é uma lei que orienta o desenvolvimento e crescimento urbano até 2029. Elaborado com a participação da sociedade, a lei teve alterações em 2023 e 2024, visando que o desenvolvimento da cidade seja feito de forma planejada, atendendo "às necessidades coletivas da população, visando Garantir uma cidade mais moderna, equilibrada, inclusiva, ambientalmente responsável, produtiva e, sobretudo, com qualidade de vida".

Segundo o Art. 213 da Lei nº 16.050/2014, o sistema de drenagem é o conjunto formado pelas características geológico-geotécnicas e do relevo e pela infraestrutura de macro e microdrenagem instalada, sendo composto por:

- Fundos de vale, linhas e canais de drenagem, planícies aluviais e talvegues;
- Elementos de microdrenagem, como vias, sarjetas, meio-fio, bocas-de-lobo, galerias de água pluvial, entre outros;
- Elementos de macrodrenagem, como canais naturais e artificiais, galerias e reservatórios de retenção ou contenção;

O Plano Diretor Estratégico é uma lei que orienta o crescimento e desenvolvimento da cidade de São Paulo (Lei nº 16.050/2014), e integra as políticas dos sistemas urbanos e ambientais com a política de ordenamento territorial na área referente ao planejamento de proteção e recuperação da rede hídrica ambiental cita que:

- Ampliar progressivamente as áreas permeáveis ao longo dos fundos de vale e cabeceiras de drenagem, as áreas verdes significativas e a arborização, para minimização dos processos erosivos, das enchentes e das ilhas de calor;

> • Ampliar os parques urbanos e lineares para equilibrar a relação entre o ambiente construído e as áreas verdes e livres e, assim, garantir espaços de lazer e recreação para a população;

No escopo de estudar a parte de drenagem de uma sub-bacia da cidade de São Paulo é necessário incluir os parâmetros do PLANO DIRETOR DE DRENAGEM (PDD) e Manual de Drenagem (em três volumes) na página da Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL) que visa "o planejamento da drenagem urbana, diretrizes para projetos, aspectos fundamentais de hidrologia, hidráulica, qualidade da água, transporte de sedimentos e medidas de controle de escoamento superficial" (SMUL, 2014). O uso dos dados do GEOSAMPA, o sistema oficial da cidade de São Paulo que conta com dados georreferenciado, permitindo visualizar, consultar e analisar mais de 400 camadas de informações, como zoneamento, transporte público, patrimônio histórico, arborização e equipamentos sociais

Com base nos fatos apresentados, o presente estudo pretende avaliar a redução dos efeitos negativos do extravasamento de vazão de um córrego da região metropolitana de São Paulo com a implementação de telhados verdes na região em torno do córrego. De modo geral, o objetivo é estimar a vazão que pode ser retida com o uso dessa técnica de SBN na microbacia do córrego Bellini (Localizado na zona oeste da cidade de São Paulo, ao lado do parque Villa Lobos no bairro Alto de Pinheiros) com a finalidade de minimizar inundações na foz do córrego.
Para atingir este objetivo principal, foram realizadas as seguintes etapas de estudo:

- Levantamento bibliográfico sobre as legislação ambiental hídrica urbana;
- Explicação de funcionamento da estrutura de um telhado verde;
- Estimada a vazão de água da chuva retida através de reservatórios e telhados verdes do trecho estudado;

Apresentado o comparativo da vazão de água da chuva que escoa atualmente pela microbacia e a vazão retida atrás das modificações propostas.

2 Soluções de infraestrutura verde-azul na rede de micro drenagem

Conforme Guimarães (2018) explica que durante a fase Higienista, os projetos de drenagem na cidade de São Paulo se desenvolveram com foco na saúde pública com a chamada infraestrutura cinza. A professora na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Cecilia Polacow Herzog, presidente do Inverde, (Instituto de Pesquisas em Infraestrutura Verde e Ecologia Urbana) é paisagista urbana, especialista em Preservação Ambiental das Cidades, cita Herzog e Rosa (2010) que:

> "A urbanização tradicional é baseada na infraestrutura cinza monofuncional, focada no automóvel: ruas visam à circulação de veículos; sistemas de esgotamento sanitário e drenagem objetivam se livrar da água do esgoto o mais rápido possível; telhados servem apenas para proteger edificações e estacionamentos asfaltados são destinados a parar carros. A infraestrutura cinza interfere e bloqueia as dinâmicas naturais, que além de ocasionar consequências como inundações e deslizamentos, suprime áreas naturais alagadas/alagáveis e florestadas que prestam serviços ecológicos insubstituíveis em áreas urbanas "

Desde o início do século XXI estudos científicos como o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que as mudanças climáticas estão causando impactos relevantes à humanidade e visam criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais e estabelecer a consciência ecológica

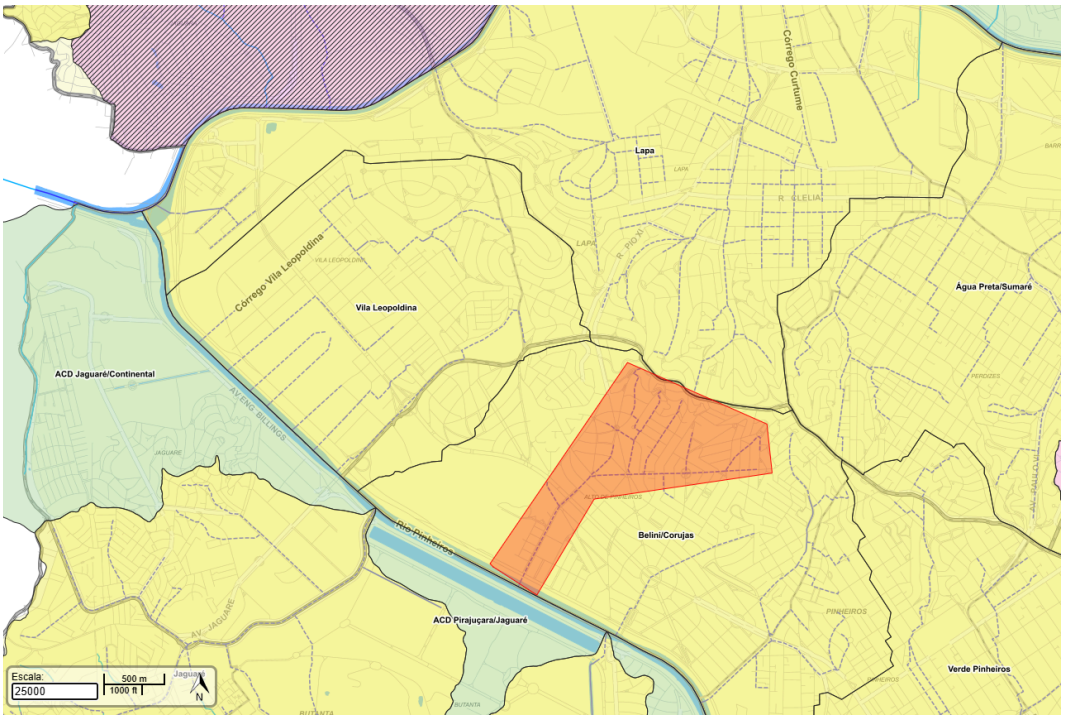
e o desenvolvimento de novas tecnologias, visando o desenvolvimento sustentável, cita Pfeiffer (s.d.).

> “ Voskamp e Van de Ven (2015) apontam que alguns dos benefícios da infraestrutura verde-azul são a melhoria do regime de balanço hídrico e a suavização do pico de escoamento das águas pluviais, que reduzem a erosão do solo e aumentam a qualidade da água. Zhang (2017) destaca que o controle da quantidade de água no escoamento permite o gerenciamento do risco de inundação, pois auxilia na manutenção e proteção do ciclo natural da água, além de reabastecer os aquíferos subterrâneos” (Herzog, 2010).

3. Área de estudo

O córrego Belini é um afluente do Rio Pinheiros e tem suas nascentes localizadas nas imediações da Rua Cerro Corá, na Vila Madalena. Ele escoa pelas ruas Alvilândia, Japiaçóia e Belini e pela Avenida Arruda Botelho, até desaguar no Rio Pinheiros. A extensão total do talvegue principal é de aproximadamente 2.490 m no córrego Belini. Conforme mapa da figura 8.

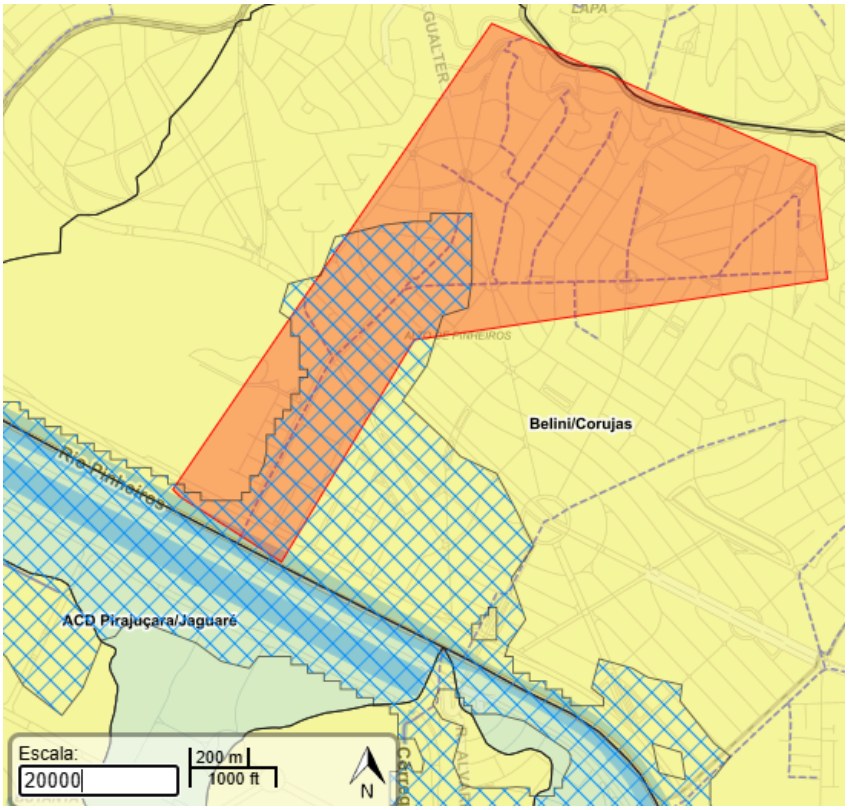
Figura 8 - Localização do córrego Belini.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases do Geosampa (São Paulo, 2026)

No portal Geosampa da Prefeitura de São Paulo é possível verificar a área atual de inundação na foz do córrego Belini. A hachura em azul representa a mancha de inundação. Nota-se que a maior parte da mancha concentra-se não somente na foz do córrego mas também em quase toda a extensão da Avenida Arruda Botelho, conforme imagem 9 abaixo.

Figura 9 - Áreas inundáveis na foz do córrego Belini.



Fonte: Geosampa, 2023.

Há vários registros de alagamentos nas marginais dos Rios Pinheiros e Tietê na cidade de São Paulo, sendo o mais emblemático ocorrido nos dias 9 e 10 de fevereiro de 2020, após um evento de precipitação prolongada na cidade de São Paulo. Conforme figura 10.

Figura 10 - Alagamento na cidade de São Paulo

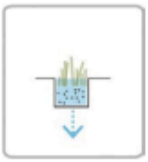
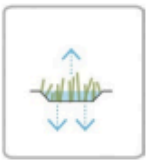
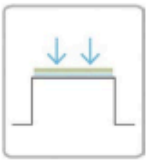


Fonte: (Globo, 2020)

Dados de precipitação coletados nos postos CTH-USP, Ponte Cidade Universitária e no Córrego das Corujas indicaram respectivamente 133 mm, 127 mm e 128 mm precipitados em um período de 17 horas. Um evento de baixa precipitação, mas por um período prolongado que causou transtorno não somente na área de estudo das sub-bacia do córrego, mas também em toda área da grande São Paulo.

A redução e o tratamento do escoamento da água de chuva gerado pela urbanização se baseiam na retenção/detenção, na infiltração, no transporte e na captação da água superficial. A figura 11, retirada do Caderno de Drenagem dos Córregos Belini e Corujas (FCTH, 2020) mostra os tipos de equipamentos de infraestrutura verde-azul e um resumo de sua funcionalidade aplicados na rede de micro drenagem sugeridos para a sub-bacia.

Figura 11 - Infraestrutura verde-azul no sistema de micro drenagem do Córrego Belini/Corujas

Medida	Descrição
Jardim de chuva (biorretenção) 	**Função:** filtração, infiltração e detenção São estruturas simples constituídas por depressão pouco profunda e revestidas com uma camada de substrato (solo preparado para plantio) e plantas. Possuem alta eficiência na remoção de poluentes e contribuem para a valorização do espaço urbano com o incremento de áreas verdes
Canteiro pluvial (biorretenção) 	**Função:** filtração, infiltração e detenção Estruturas de biorretenção semelhantes aos jardins de chuva. São geralmente mais profundas e podem apresentar uma configuração linear, sendo possível a implantação ao longo de vias e passeios. Essas estruturas também possuem alta eficiência na remoção de poluentes e contribuem para a valorização do espaço urbano
Biovaleta 	**Função:** condução, filtração e detenção Esses dispositivos correspondem a estruturas simples, sendo necessárias apenas escavações, de maneira a conformar depressões com uma direção preponderante de escoamento. É também um dispositivo de biorretenção, pois, enquanto conduz o escoamento superficial, realiza o tratamento das águas pluviais
Telhado verde 	**Função:** filtração e detenção Esse é outro tipo de biorretenção composto por uma camada drenante (colchão drenante) sob uma camada de substrato vegetado. Além de reter e filtrar as águas das chuvas, poderá criar um espaço de lazer e contemplação. Essas estruturas também contribuem para a regulação das temperaturas internas do edifício

Fonte: FCTH/SIURB, 2023.

Propondo diminuir a vazão da microbacia, nesse trabalho optou-se pelo uso do telhado verde, pois sua implementação ocorre sobre edificações já existentes e diferentemente das outras opções acima citadas, sua execução não demanda modificações estruturais na rede de micro drenagem existente.

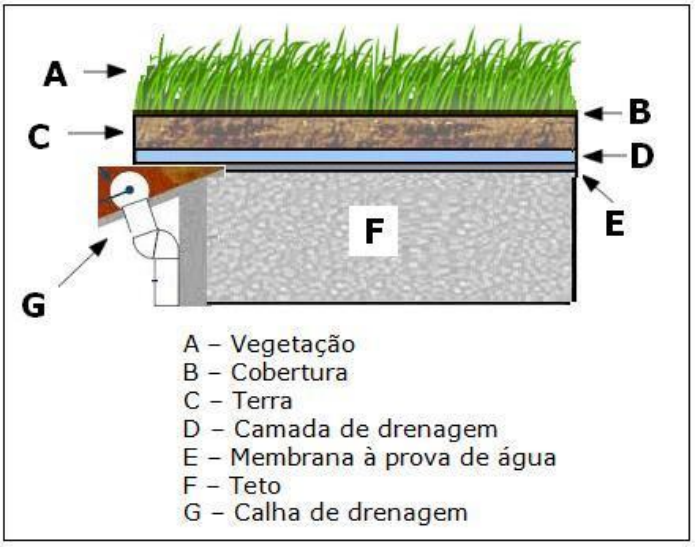
3 Breve histórico sobre Telhados Verdes

Segundo ARAÚJO (2007) os telhados verdes são caracterizados como toda cobertura ou telhado, que agrega em sua composição, uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação. Historicamente os telhados verdes são usados há séculos: na antiga Mesopotâmia no topo de Zigurates; no Império Romano, era comum o cultivo de árvores nas coberturas dos edifícios dos patrícios.

Porém o conceito moderno de telhado verde como infraestrutura verde-azul foi concebido na Alemanha e na Suíça nos anos de 1960, Magil et Al (2011) cita Reinhard Bornkamm publicou um trabalho em 1961. Em 1970 várias pesquisas abrangendo membranas impermeáveis,

drenagem, materiais mais leves e tipos de vegetação são publicadas. Em 1975 na Alemanha a Fundação da Sociedade de Pesquisa, Desenvolvimento e Construção Paisagística estabelece padrões de telhados verdes. Essas pesquisas contribuíram para o entendimento do telhado verde como uma importante ferramenta para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanas. A figura 12 representa as camadas de um telhado verde.

Figura 12 - Composição de um telhado verde.



Fonte: Construção civil técnicas, 2013

O telhado verde funciona retendo água da chuva nos vazios das camadas do substrato criando uma zona saturada, uma vez excedida a sua capacidade de armazenamento seu comportamento se assemelha ao de um telhado convencional. Abaixo uma comparação entre os dois tipos de telhados.

Figura 13 - Comparativo entre sistema de telhado verde e telhado convencional.

Vantagens		
	Telhado Verde	Telhado Convencional
Controle de inundações:	A água da chuva retida onde uma parte é evaporada, reduzindo o volume total do escoamento superficial.	A água das chuvas é recolhida pela calha e todo o volume é direcionado para a galeria pluvial

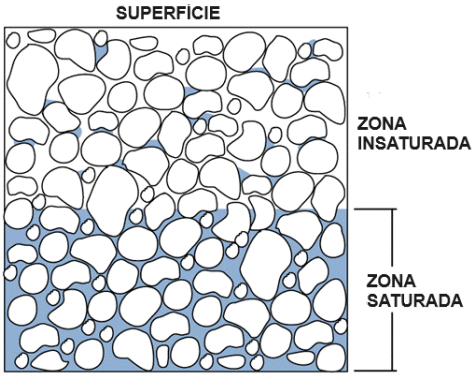
Conforto Acústico :	Telhados verdes promovem conforto acústico através da ação tanto do substrato como das plantas.	Necessário aplicar um sistemas de isolamento acústico
Filtragem da água	Atua como filtro mecânico das partículas	Não se aplica
Eficiência energética	Aumenta o conforto térmico diminuindo os gastos com energia com resfriamento do ambiente	Dependendo do tipo de telha pode haver uma alteração considerável no ambiente interno sendo necessário acrescentar sistemas como ar condicionado aumentando o consumo de energia elétrica
Desvantagens		
	Telhado Verde	Telhado Convencional
Investimento	Alto custo inicial	Baixo custo inicial
Mão de obra	Requer mão de obra especializada	Não requer mão de obra especializada
Infiltração	Caso o sistema não seja aplicado de forma incorreta pode gerar infiltração de água e umidade na edificação	Caso o sistema não seja aplicado de forma incorreta pode gerar infiltração de água e umidade na edificação

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Sanches et al, 2019.

Conforme cita Tassi et al (2014). a espessura da camada do substrato e altas taxas de evapotranspiração altera a taxa de retenção de água pluvial no telhado verde, pois o substrato armazena água, mas os processos de evapotranspiração promovem o esvaziamento dele, aumentando a eficiência do telhado no armazenamento do escoamento pluvial.

Segundo a Embrapa (2017) a porosidade total do solo é a fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupado por água e/ ou ar indicado na figura 14.

Figura 14 - Zona saturada e insaturada do solo.



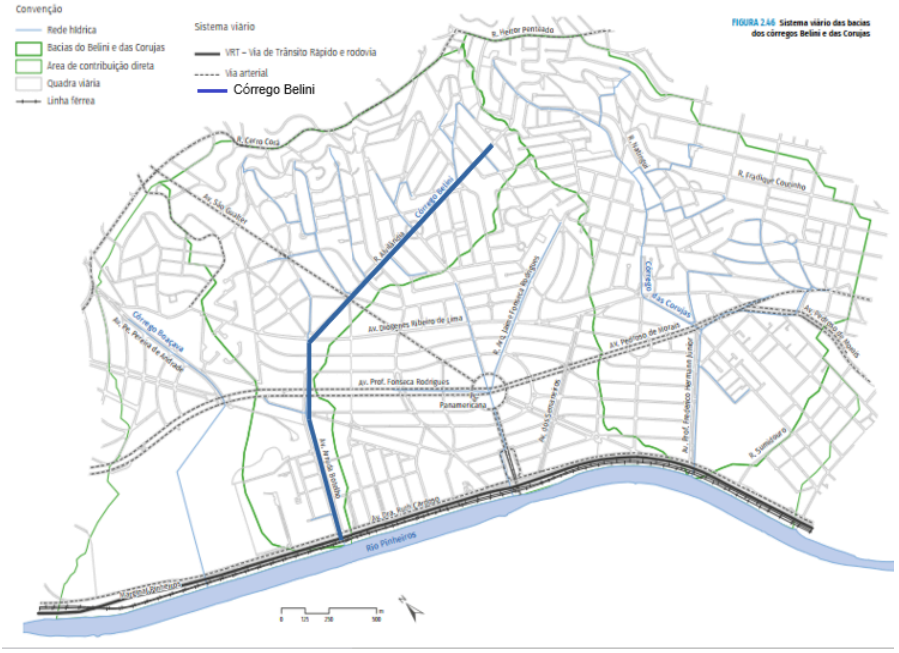
Fonte: Buddemeier, 2000.

A cobertura verde pode ser usada em construções com estruturas de metal, de concreto e de madeira de acordo com o uso e o formato do telhado verde, ele pode ser montado de diferentes maneiras. A escolha das espécies de plantas deve ser feita localmente, optando sempre por plantas nativas, facilmente adaptáveis e que requerem menos irrigação.

3. Materiais e Métodos

O trabalho utilizou dados reais da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Obras Urbanas (SIURB) da cidade de São Paulo: Uma série de manuais de drenagem especificamente do caderno de 2023 do córrego Belini e Coruja, conforme figura 15 abaixo.

Figura 15 - Mapa do córrego Belini



Fonte: São Paulo, 2023. Adaptado pela autora

O caderno referente a sub-bacia dos córregos Belini e Corujas mostra que o local não suporta toda a vazão que escoa da sua bacia causando pontos de alagamento. Os dados foram

elaborados com base em dados empíricos como os histogramas de chuva, inclinação do terreno, porcentagem de áreas impermeáveis.

Segundo o secretário-geral da Organização Meteorológica Mundial, OMM, Petteri Taalas alerta que cerca de metade do mundo tem experimentado um aumento nos eventos de inundação e um terço do planeta tem sofrido com a seca. (ONU, 2023). Na figura 16 abaixo, foto de inundação na Sub-bacia do Córrego Belini.

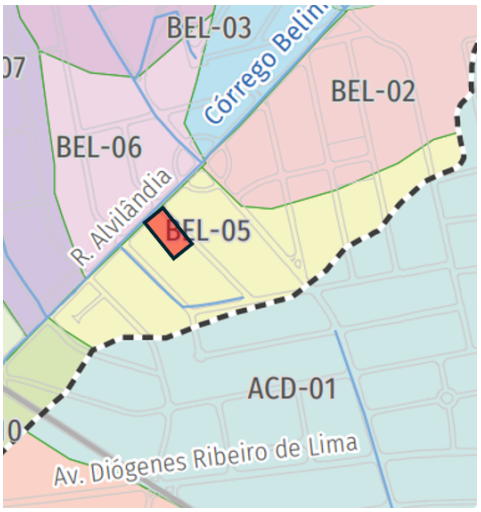
Figura 16 - Alagamento na Av. Arruda Botelho e R. Orobó



Fonte: São Paulo, 2020.

A área de estudo considerada foi um terreno de uma edificação de uso institucional, a “Escola Estadual Victor Olivia” na esquina da rua Alvilândia com a Rua Aramanaí, a jusante da Praça Dr. João Guilherme Flocke (Rotatória na junção de quatro sub bacias: BEL-02, BEL-03, BEL-05 E BEL-06. O terreno para a simulação dos cálculos foi escolhido por apresentar uma grande área construída sendo ideal para captar a água da chuva. Outro ponto que corroborou a escolha foi a localização na bacia, a montante dá na mancha de inundação, apresentando uma declividade média de 5,6% conforme dados do caderno de drenagem do FCTH (2023) onde a água da chuva já escorre sem infiltrar facilmente no solo. Na figura 18, é possível observar a área do terreno (6.984,00m²), a área de cobertura impermeável (2.570,00m²) e a denominação da sub-bacia (BEL-05) Figura 17.

Figura 17 - Área de estudo



Fonte: São Paulo, 2023. Adaptado pela autora

Os dados da área foram retirados do Caderno de bacia hidrográfica: bacias dos córregos Belini e das Corujas (FCTH, 2023), sendo apresentados na figura 18 abaixo:

Figura 18 - Características do terreno



Fonte: São Paulo, 2023. Adaptado pela autora.

Também foram levantados dados empíricos de precipitação pluviométrica na região, retirados do Caderno de bacia hidrográfica: bacias dos córregos Belini e das Corujas (FCTH, 2023) , sendo apresentados na figura 19 abaixo:

Figura 19 - Precipitação calculada para diferentes períodos de retorno

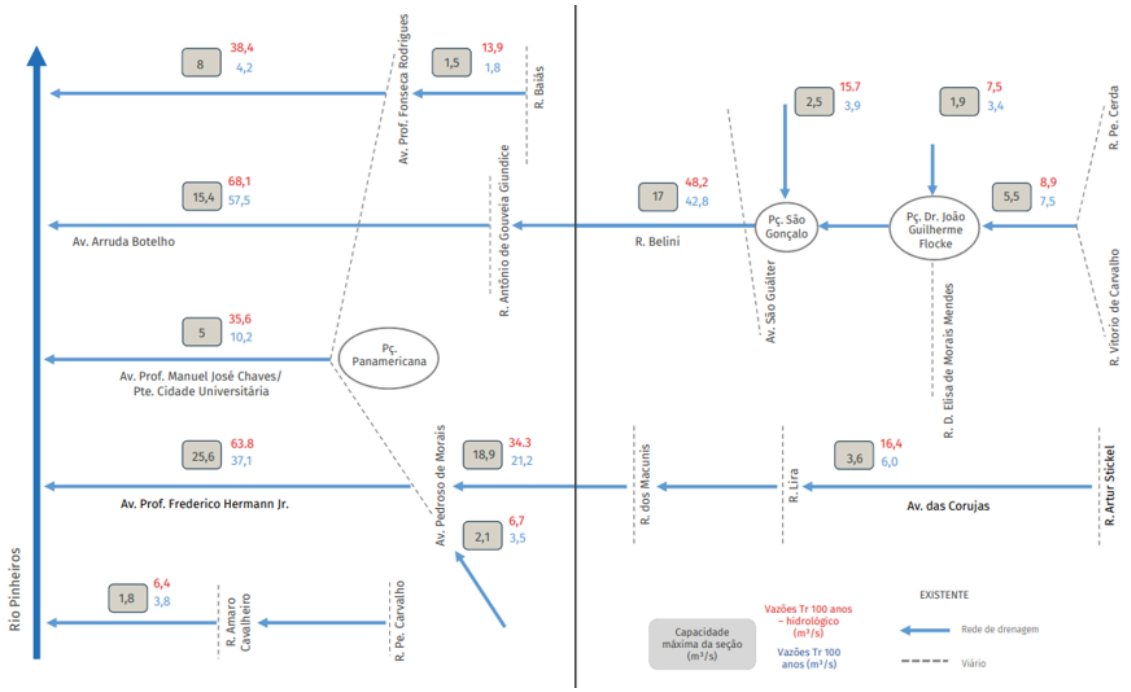
Duração (min)	Precipitação (mm)				
	Tr 2 anos	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 25 anos	Tr 100 anos
10	8,5	11,5	13,5	16,1	19,8
20	13,7	18,6	21,8	25,9	31,9
30	10,4	14,1	16,6	19,7	24,3
40	5,5	7,4	8,7	10,3	12,7
50	1,1	1,6	1,8	2,2	2,7
60	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Precipitação total acumulada	39,6	53,7	63,0	74,8	92,3

Fonte: SÃO PAULO, 2023. Adaptado pela autora.

4.Resultados e Discussão

Logo a jusante da BEL-0, o córrego (que está canalizado e tamponado) foi projetado para suportar uma vazão de 17m³/s, porém o Tr de 100 anos é de 48,2m³/s, conforme Figura 20.

Figura 20 - Mapa de vazão dos córregos Belini e Corujas.



Fonte: SÃO PAULO, 2023.

Conforme destacado na Figura 20, sendo Tr o período médio, expresso em anos, em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez. Segundo levantamento de dados apresentado no caderno de drenagem nos dados acima, foram calculados quantos m³/se podem ser retidos na BEL-05 em um TR de 100 anos com 19,8mm em 10 minutos e acumulado em 92,3 mm em uma hora.

Figura 21 - Área impermeável atual e máxima permitida por lei.

Sub-bacia	Área impermeável (%)	
	Atual	Máxima permitida
BEL-01	75,3	75,1
BEL-02	75,8	74,4
BEL-03	81,6	75,1
BEL-04	76,2	76,3
BEL-05	77,3	74,2

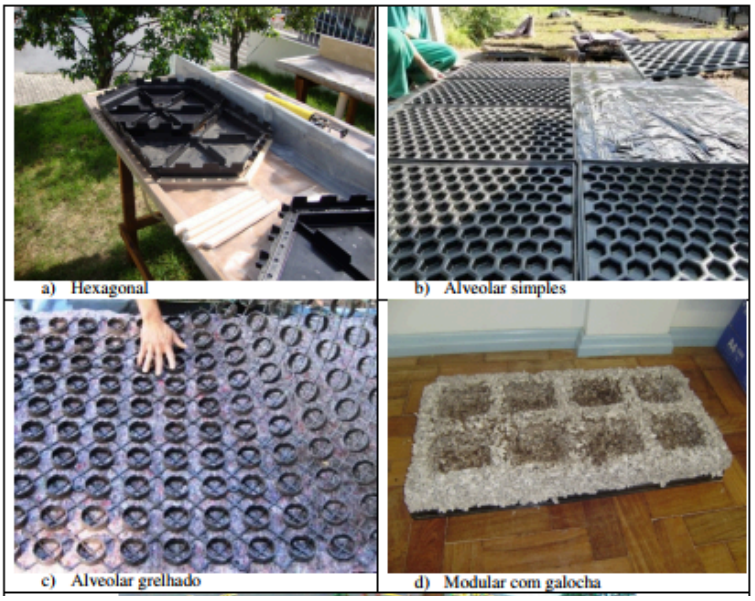
Fonte: SÃO PAULO, 2023. Adaptado pela autora

A escolha do local na BEL-05, apresenta área impermeável maior do que a permitida por lei (77,30% quando o máximo é de 74,20%), Figura 21.

Para o cálculo de simulação do telhado verde foram utilizados os dados empíricos de Jobim (2013) de sua dissertação de mestrado, que construiu modelos de telhados verdes para aferir a capacidade de um telhado verde em armazenar a água da chuva no substrato por meio da infiltração. Para os cálculos de absorção de água nos telhados verdes Jobim projetou e

executou sistemas bancadas de 12 tipos de telhados verdes, onde cada bancada possui o comprimento de 1,90 m e largura de 0,40m em cada plano, com inclinação de 1 %, ou seja, inclinação total de 0,004m. Lona plástica transparente, com espessura de 95 (noventa e cinco) micras, em 2 (duas) camadas foi utilizada para a impermeabilização do sistema. Por cima desta camada foram utilizadas diferentes composições e espessuras de substratos, bem como, a adição de aproximadamente 1 cm de compostos do tipo argila expandida em uma das parcelas de cada sistema. Conforme imagens da figura 22 abaixo.

Figura 22 - Experimentos feitos por Jobim para o cálculo de absorção de água com várias tipologias de telhados verdes



Fonte: Jobim, 2013

Para a cobertura vegetal dos sistemas de telhado verde, Jobim utilizou a grama São Carlos (*Axonopuscompressus*) e a Calanchôe (*Kalanchöe blossfeldiana*). A Calanchôe foi instalada nos sistemas hexagonal, modular com galocha e reciclável (figura 23) e a grama foi necessária para a instalação nos sistemas alveolares (figura 24)

Figura 23 - Montagem inicial dos sistemas alveolares simples com e sem argila, utilizando espécie Calanchôe no experimento de Jobim.



Fonte: Jobim, 2013.

Figura 24 - Sistema alveolares antes e depois da substituição da vegetação de plantas calanchoê por grama São Carlos.



Fonte: Jobim, 2013.

Os dados foram coletados por Jobim em um período de 35 dias com volume médio de chuva de 14mm e máximo de 68mm. Os resultados foram compilados na figura 25, sendo que para alguns eventos de chuva nem foi gerado escoamento superficial.

Figura 25 - Resultado do experimento de telhados verdes de Jobim.

Retenção e armazenamento pluvial em telhados verdes com solo seco		
Sistema	redução escoamento (%)	armazenamento (mm/m²)
Galocha com argila expandida	88,1	14,2
Galocha sem argila expandida	82,8	13,3
Hexagonal com argila	79,8	9,5
Hexagonal sem argila	60,4	8,2
Alveolares simples	61,0	8,7
Alveolares grelhados	59,0	7,6
Módulo reciclável	22,0	4,5

Fonte: Jobim, 2013

Os resultados de Jobim indicam que é possível simular para este trabalho o uso do telhado verde de sistema modular com galocha com substrato com argila expandida, onde foi possível reter, em média, 14,2 mm/m².

Considerando que o lote em estudo possui área de 6.984,00 m² e contém edificação existente, enquadra-se nas disposições do Art. 79 da Lei nº 16.402/2016 (LPUOS) da LEI Nº 16.402 de 22 de Março de 2016 LPUOS (LPUOS, 2016):

> "(...) reformas com alteração de área construída superior a 20% (vinte por cento) em lotes com área superior a 500m² (quinhentos metros quadrados), é obrigatória a

reservação para aproveitamento de águas pluviais provenientes das coberturas das edificações para fins não potáveis

§ 1º O volume mínimo obrigatório de reservação de que trata o "caput" deste artigo será calculado de acordo com as seguintes fórmulas:

I - no caso de coberturas impermeáveis:

Vri = 16,00 x ACi, sendo:

Vri: volume mínimo de reservação para aproveitamento de águas pluviais provenientes de coberturas impermeáveis, em litros;

ACi: área de cobertura impermeável, em metros quadrados;

II - no caso de coberturas verdes:

Vrv = 5,4 x ACv, sendo:

Vrv: volume mínimo de reservação para aproveitamento de águas pluviais provenientes de coberturas verdes, em litros;

ACv: área de cobertura verde, em metros quadrados.

No caso de coberturas mistas (parte impermeável/parte verde), o volume mínimo de reservação de que trata o "caput" deste artigo será calculado a partir da soma dos volumes mínimos parciais, sendo estes obtidos conforme equações de seu **§ 1º:**
Vrm = Vri + Vrv"

Os cálculos foram baseados em duas hipóteses:
a) na hipótese de uma reforma na nova cobertura, considerando a situação em que 80% da cobertura é verde, e 20% impermeável para acessos e manutenção:

Vrm = vri + vrv

Vri = 16 x (2.570 x 0,20) = 8.224,00 litros, equivalente a 8,22m³ e,

Vrv= 5,4 x (2.570 x 0,80) = 11.102,40 litros, equivalente a 11,10m³,

No total = 19,32m³

b) Precipitação de 19,8mm por 10 minutos (conforme figura 20) reflete as condições de chuvas já registradas no local, portanto, uma condição que não há a cobertura verde instalada. Nesse caso o telhado escoou para a galeria 19,8 x 2.570 = 50.886 litros equivalentes a 50, 87m³

O volume precipitado sobre a cobertura durante um evento de chuva de 19,8 mm em 10 minutos é de aproximadamente 50,87 m³. Comparando-se esse volume com o volume mínimo de reservação exigido pela LPUOS (18,32 m³), observa-se que o evento pluviométrico gera um volume de água superior em 32,55 m³ à capacidade mínima de reservação prevista pela legislação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do Córrego Belini apresenta uma área de drenagem de 2,0km² ou seja, 2.000.000m². A hipótese considerou uma área de cobertura que de representa 2.750m², equivalente a apenas 0,1375% da área total da bacia. Embora pareça uma área insignificante perto de toda a bacia, foi considerado apenas um lote para o cálculo, deve-se considerar que os sistemas de micro e macrodrenagem são integrados e os resultados sugerem que a ampliação da adoção de telhados verdes em outras edificações da bacia pode contribuir para a redução dos volumes escoados superficialmente. Para eventos sucessivos ou chuvas associadas a tempos de retorno mais elevados, deve-se considerar a possível redução da eficiência hidrológica do telhado verde em razão da saturação prévia do substrato.

As Soluções Baseadas na Natureza buscam reproduzir processos presentes nos ecossistemas naturais, promovendo a integração entre retenção, infiltração, evapotranspiração e armazenamento temporário das águas pluviais. Recomenda-se que o caderno de drenagem amplie a participação de SbN de forma a complementar as soluções de drenagens convencionais. Essa abordagem contribui para reduzir a transferência acelerada dos volumes excedentes para jusante, favorecendo a infiltração da água no solo, a recarga do lençol freático, a redução das vazões de pico e da velocidade do escoamento superficial, além da preservação da paisagem urbana e dos serviços ecossistêmicos associados, e preservando a paisagem (natural e antrópica).

6. Referências Bibliográficas

BUDDEMEIER. W. R. Saturated Thickness - Concepts and Measurement. 11 set. 2000. Disponível em: https://www.kgs.ku.edu/HighPlains/atlas/apst.htm . Acesso em 19 nov 2025.

CITY MONITOR. Where are the largest cities in South America?Disponível em: https://citymonitor.ai/environment/where-are-the-largest-cities-in-south-america Acesso em: 13 nov. 20

CONSTRUÇÃO civil técnica. Blog. Cobertura verde. 2015. Disponível em:https://construcaociviltecnicas.blogspot.com/2013/08/cobertura-verde.html. Acesso em 19 nov 2025

FABER, Marcos. A importância dos rios para as primeiras civilizações. **História ilustrada**, v. 2, 2011.Díspobivel em:http://www.historialivre.com/antiga/importancia_dos_rios.pdf. Acesso em: 15 nov. 2025.

GLOBO. Disponível em: ttps://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2020/02/10/temporal-causa-alagamentos-em-sao-paulo-nesta-segunda-feira.ghtml. Acesso em: 27 out. 2025

GUIMARÃES, Luciana Fernandes et al. O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais: o caso da sub-bacia do Rio Comprido. **Paisagem e Ambiente**, n. 42, p. 75-95, 2018. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/150703 . 15 nov. 2025.

HERZOG e Rosa em seu artigo , Cecilia Polacow; ROSA, Lourdes Zunino. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista Labverde**, n. 1, p. 92-115, 2010. https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217. 15 set. 2025.

LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. Geousp – Espaço e Tempo (On-line), v. 24, n. 2, p. 340-360, ago. 2020. ISSN 2179-0892. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/164499. Doi: https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2020.164499. Acesso em 23 out. 2025.

MAGIL ET ALL. **A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research** (2011). Southern Illinois University Carbondale. Research Papers. Paper 91. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236649272_A_History_and_Definition_of_Green_Roof_Technology_with_Recommendations_for_Future_Research. Acesso em: 16 set. 2025.

ONU. Organização das Nações Unidas. Habitat: **População mundial será 68% urbana até 2050.** Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050.. Acesso em: 16 set. 2025.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Maioria dos desastres tem relação com a água, alerta ONU.** Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2023/10/1821747. Acesso em: 16 set. 2025.

PFEIFFER, Cláudia. IPCC - Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas. Enciclopédia discursiva da cidade. Sem data. Disponível em:< https://www.labeurb.unicamp.br/endici/index.php?r=verbete%2Fview&id=212#:~:text=Este%20quarto%20relat%C3%B3rio%20indica%20que,dados%20na%20superf%C3%ADcie%20e%20um. Acesso em: 16 out. 2025.

SANCHES, Luiza Lopes et al. BENEFÍCIOS DO USO DO TELHADO VERDE EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS. 2º CONRESOL. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XV-093.pdf. Acesso em: Acesso em 29 set. 2025

SÃO PAULO (cidade).PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Gerenciamento do sistema de drenagem Urbana.. Volume 01**. 170 pag. Disponível em:https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf. Acesso em 22 set. 2025

SÃO PAULO (cidade).PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Aspectos Tecnológicos: Fundamentos .. Volume 02.** 222 pag. Disponível em:https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v2.pdf. Acesso em 22 set. 2025

SÃO PAULO (cidade).PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Aspectos Tecnológicos: diretrizes para projetos. Volume 03.** 130 pag. Disponível em:<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf. Acesso em 22 set. 2025.

SÃO PAULO (cidade). FCTH. Lei nº 16.050 de 31 de Julho de 2014. Estratégias ilustradas. 76p. Aprova a Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo e revoga a Lei nº 13.430/2002. Disponível em: https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/plano-diretor/texto-da-lei-ilustrado/.2014. Acesso em 27 out 2025

SÃO PAULO (cidade). FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Caderno de bacia hidrográfica: bacias dos córregos Belini e das Corujas / Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – São Paulo: FCTH/SIURB, 2023. 276 p. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/obras/arquivos/CBH_2023_Belini-Corujas.pdf. 2023. Acesso em 27 out 2025.

SÃO PAULO (cidade). FCTH . Lei 17.975 de 8 de Julho de 2023. Dispõe sobre a revisão intermediária do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, aprovado pela Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014, nos termos da previsão de seu art. 4º. Disponível em: https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-17975-de-8-de-julho-de-2023.2023. Acesso em 27 out 2025.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento. **GeoSampa**: Sistema de Consulta do Mapa Digital da Cidade de São Paulo. São Paulo: SMUL/PRODAM. Disponível em: https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/. Acesso em 27 out 2025.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.402, de 22 de março de 2016. São Paulo: Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento. **(LPUOS16.402/16)**. Disponível em: https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/lei-16402-de-22-de-marco-de-2016. Acesso em: 8 jun. 2026

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento. – SMUL. **Plano Diretor de Drenagem do Município de São Paulo.** Baixe aqui a minuta de contrato do edital para elaboração dos Programas de Drenagem das Bacias Prioritárias da cidade. Disponível em: https://prefeitura.sp.gov.br/web/licenciamento/desenvolvimento_urbano/plano_diretor_de_drenagem?page_number_71f42c97-fd2e-c261-0569-2ef87bfaae36=1. Acesso em 27 out 2025.

SEMASA. Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André - Enchente, inundação e alagamento. 2015. Disponível em: https://www.semasa.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/Qual-a-diferen%C3%A7a-entre-enchente-inunda%C3%A7%C3%A3o-e-alagamento..pdf . Acesso em: 14 set. 2025.

TALARICO, Paulo. **Prévia do censo de 2022 mostra que, desde 2010, a população da Grande SP ganhou 2 milhões de habitantes.** Jornal Unesp. Disponível em: https://jornal.unesp.br/2023/01/30/previa-do-censo-de-2022-mostra-que-desde-2010-populacao-da-grande-sp-ganhou-2-milhoes-de-habitantes/#:~:text=Divulgado%20no%20final%20de%202022. Acesso em 17 out. 2025.

Tassi, R., Tassinari, L. C. D. S., Piccilli, D. G. A., & Persch, C. G. (2014). **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais.** *Ambiente Construído*, *14*, 139-154. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/SLTzVMTPCbKMQxxTb37FzCr/. Acesso em 17 out. 2025.

TRAVASSOS, L.; PENTEADO C.; FORTUNATO, I. (2017). **Urbanização desigual: rios, mídia e**

modernização ecológica. Espacio Abierto. 26. 61-81. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/122/12252818005/html/. Acesso em:09 nov. 2025.