

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLOVIS FRANCISCO DE ARAÚJO

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA BIOENGENHARIA DE SOLOS E  
FITORREMEDIAÇÃO NO MANEJO DAS ÁGUAS URBANAS**

CURITIBA  
2017

CLOVIS FRANCISCO DE ARAÚJO



**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA BIOENGENHARIA DE SOLOS E  
FITORREMEDIAÇÃO NO MANEJO DAS ÁGUAS URBANAS**

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Gestão Ambiental do curso de MBA em Gestão Ambiental do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

CURITIBA  
2017

Aos meus pais, Raimundo Francisco de Araújo e Maria de Lourdes Barbosa de Araújo, ao meu amigo Eduardo Lopes, pessoas que sempre acreditaram no meu trabalho e compõem minha base, não só para a conclusão do curso, mas presentes em todas as dificuldades e conquistas da minha vida. Aos amigos da Universidade Federal do Paraná, do curso de especialização em Gestão Ambiental, pessoas que tornaram essa jornada repleta de aprendizado, amizade e valores.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador professor Alessandro Camargo Ângelo, obrigado por acreditar no meu trabalho!

Um agradecimento especial a meus pais, Raimundo e Maria de Lourdes por sempre apoiarem minhas escolhas e estar presentes nos momentos de dificuldade em toda trajetória do conhecimento.

E um agradecimento especial também a meu grande irmão de coração Eduardo Lopes, que teve participação especial nesse trabalho, sendo um bom ouvinte, sempre incentivando, com opiniões construtivas que tornaram esse trabalho realidade. Obrigado irmão!

## RESUMO

A bioengenharia de solos e a tecnologia de fitorremediação utilizam materiais construtivos vivos, ou seja, sementes, plantas, partes de plantas e associações vegetais, assim como biomateriais com aplicação em obras de terra, controle de erosão e assoreamento, proteção de margens, taludes e encostas contribuindo para a mitigação dos impactos da poluição difusa e decorrentes da impermeabilização do solo urbano, e ao mesmo tempo auxiliando o manejo das águas pluviais na preservação dos corpos hídricos urbanos.

O conteúdo desse trabalho está estruturado em quatro capítulos, o capítulo 1 descreve o tema da pesquisa com fundamentação teórica, objetivos do estudo e justificativas, o capítulo 2 descreve a metodologia de pesquisa, o capítulo 3 apresenta a análise dos resultados e por último, no capítulo 4, é apresentada a conclusão desse estudo e as considerações finais.

**Palavras-chave:** Ihas fitorremediadoras, Muros Fitorremediadores, Biomateriais, Infraestrutura verde.

## **ABSTRACT**

Soil bioengineering and phytoremediation technology use plants applied in building, for example seeds, macrophytes plants, plant parts and plant associations, and it's used biomaterials with application in earthworks, erosion control, protection slopes contributing to the mitigation of the impacts of diffuse pollution and resulting from the impermeabilization of the urban soil, while at the same time assisting the management of rainwater in the preservation of rivers and streams.

The content of this work is structured in four chapters, chapter 1 describes the theme of the research with theoretical foundation, study objectives and justifications, chapter 2 describes the methodology of research, chapter 3 presents the analysis of the results and finally, in the Chapter 4, the conclusion of this study is presented and the final considerations.

**Keywords:** Floating Wetlands, Phytoremediation Walls, Biomaterials, Green infrastructure

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Ocupação da Várzea do rio Tietê _____	11
FIGURA 2: Enchentes em São Paulo _____	15
FIGURA 3: Bacia do Tietê _____	18
FIGURA 4: Microbacia do Córrego Jacu _____	18
FIGURA 5: Ilha fitorremediadora _____	19
FIGURA 6: Alagados construídos _____	20
FIGURA 7: Muro Fitorremediador _____	21
FIGURA 8: Passeios Drenantes _____	22
FIGURA 9: Biovaletas _____	24

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Espécies com características fitorremediadoras _____	26
Tabela 2: Tipologias de Infraestrutura Verde _____	31
Tabela 3: Benefícios das tipologias de manejo das águas urbanas _____	32

## SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>9</u>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	OBJETIVO GERAL	13
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4	JUSTIFICATIVAS	14
<u>2</u>	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	<u>17</u>
2.1	APRESENTAÇÃO DE ÁREA DE ESTUDO	17
2.2	RELAÇÃO DE TIPOLOGIAS APLICADAS ASSOCIADAS À BIOENGENHARIA DE SOLOS E FITORREMEDIAÇÃO	19
2.3	SUGESTÃO DE BIOMATERIAIS PARA APLICAÇÃO	25
2.4	SUGESTÃO DE MATERIAIS VIVOS PARA APLICAÇÃO	26
<u>3</u>	<u>RESULTADO E DISCUSSÃO</u>	<u>30</u>
3.1	PROPOSTA DE AÇÕES	30
3.2	BIOARQUITETURA DAS TIPOLOGIAS IMPLANTADAS	31
3.3	BENEFÍCIOS	32
<u>4</u>	<u>CONCLUSÃO</u>	<u>33</u>
<u>5</u>	<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>34</u>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A questão chave dessa pesquisa é: *Como a aplicação de conceitos da bioengenharia de solos e de fitorremediação contribuem para o manejo das águas urbanas?*

Esse estudo visa evidenciar como a aplicação da bioengenharia de solos e da fitorremediação na elaboração de tipologias de infraestrutura natural colaboram com a conservação do ambiente e mitigam as condições insalubres em tempos de chuva, ao mesmo tempo que atuam na mitigação da degradação de solos e águas urbanas

A bioengenharia de solos utiliza materiais construtivos vivos, ou seja, sementes, plantas, partes de plantas e associações vegetais, com aplicação em obras de terra, controle de erosão e assoreamento, proteção de margens, taludes e encostas

A fitorremediação se refere ao uso de plantas na descontaminação de corpos d'água e solos poluídos, principalmente com metais pesados e poluentes orgânicos, reduzindo seus teores a níveis seguros à saúde humana, além de contribuir na melhoria das características físicas, químicas e biológicas destas áreas (TAVARES, 2009).

A pesquisa apresenta uma aplicação conceitual de tipologias de infraestrutura verde fundamentadas na bioengenharia de solo e fitorremediação com a finalidade de mitigar os impactos da poluição difusa e decorrentes da impermeabilização do solo urbano, e ao mesmo tempo auxiliem o manejo das águas pluviais na preservação dos corpos hídricos urbanos.

## 1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o aumento da impermeabilização nos centros urbanos, há a necessidade de estruturas sustentáveis que atuem tanto no controle quantitativo como também no qualitativo das águas pluviais. A pouca infiltração nas áreas urbanas contribui para a contaminação dos corpos hídricos, em decorrência das

águas provindas do escoamento superficial de ruas e calçadas que carregam a poluição difusa até os corpos receptores (BENINI, 2015).

No ano de 1622, numa colina próxima ao encontro das águas do Córrego Itaquera e do Córrego Jacu com o Rio Tietê, ergueu-se a Capela de São Miguel e um aldeamento ao redor, um dos marcos iniciais da ocupação da região que hoje denominada zona leste de São Paulo, ao mesmo tempo que existia a proximidade a esses corpos hídricos onde podiam obter água e peixes ou se deslocar em canoas, os moradores de São Miguel ficavam protegidos das cheias periódicas do Tietê, nos meses de chuva.

De acordo com ZANIRATO (2011), a partir do século XX a principal atividade econômica em São Paulo estava a cargo da indústria cerâmica e das olarias. O distrito de São Miguel Paulista, situado no extremo leste do município, era a área fornecedora de tijolo, pedregulhos e areia extraídas das margens do rio Tietê, maior rio do estado, para a construção da cidade de São Paulo, o que proporcionou a chegada de um grande número de trabalhadores para essa indústria emergente. O autor complementa que em decorrência da inexistência de um comércio que pudesse suprir as necessidades desses novos trabalhadores e ocupantes dos arredores, iniciou-se a formação de um centro comercial tendo em vista que o descolamento para outra área com comércio existente era de difícil acesso.

Nas margens do rio Tietê começa o processo de criação de gados e suínos, com os resíduos gerados dessa criação lançados diretamente nas águas do rio, assim como também o lançamento de resíduos sólidos e líquidos das ocupações aos arredores, despejo de resíduos industriais e intervenções na várzea e nos córregos que cortavam essas áreas destinadas a pecuária e estabelecimento de moradias (ZANIRATO, 2011).

Com o aumento das necessidades da região e a busca por suprir essas necessidades de moradia, mobilidade, serviços e indústrias ocorre a retificação do canal do rio Tietê, contribuindo assim para a ocupação de suas margens (BENINI, 2015).

A fase seguinte foi a consolidação de um processo de urbanização com a impermeabilização do solo e instalação de dispositivos de drenagem urbana das águas pluviais com escoamento direcionado aos rios, paralelamente a esse contexto ampliou-se os problemas decorrentes da ocupação desordenada e

irregular com a instalação dos chamados *sem-terra*, na década de 1980 , na várzea do rio Tietê (ZANIRATO, 2011), como demonstrado na figura 1.



FIGURA 1: Ocupação da Várzea do rio Tietê  
Fonte: MARUTA (2017)

Esse processo de urbanização desencadeia grandes impactos nos recursos hídricos decorrentes das ocupações irregulares, falta de infraestrutura básica e a poluição difusa escoamento pluvial.

Para CARVALHO (2010), a ocupação desordenada do solo provoca impactos ao ambiente, devido a fatores como remoção da cobertura vegetal natural, ocupação de áreas de lagoas e planícies, além do aumento expressivo das áreas impermeabilizadas, que impedem a infiltração e dificultam a recarga natural dos lençóis subterrâneos. O autor destaca ainda que juntamente a esse fator, a disposição inadequada de resíduos sólidos em vias urbanas, regiões de lagoas e outros corpos d'água e a conexão indevida de esgotos nas redes pluviais, também acarretam danos lastimáveis ao meio.

RIBEIRO (2010) destaca que os sistemas de drenagem são entendidos como um conjunto de instalações destinadas a escoar o excesso das águas na malha urbana, mas não deve se restringir aos aspectos puramente técnicos impostos pelos limites restritos da engenharia. Tendo o objetivo de compreender todas as medidas adotadas, com vistas à atenuação dos riscos e dos prejuízos das inundações a que a população está exposta, assim como também o escoamento de resíduos que contaminam os corpos d'água e o solo.

Segundo DANIEL JUNIOR (2013), a preocupação hoje é a intensa impermeabilização em áreas urbanas e conseqüente poluição dos corpos d'água. Para o autor a urbanização sem planejamento, que desconsidera o ambiente, contribui ainda mais no agravamento do problema, com o aumento de áreas impermeáveis que intensificam o escoamento superficial no lugar de áreas que infiltravam no solo o volume precipitado ou evapotranspiravam por meio da vegetação. O resultado desse processo é o surgimento de processos erosivos de solos e encostas, alagamentos e inundações, e a degradação das águas urbanas.

BONZI (2013), em seu estudo, relata que a velocidade desse gigantesco metabolismo urbano se reflete na produção de resíduos, incluindo-se aí o tratamento de esgoto. O resultado é um quadro preocupante, caracterizado por precarização das condições de vida da população, proliferação de doenças de veiculação hídrica, mortalidade infantil e degradação ambiental das cidades e dos ecossistemas.

Para SCHMEIER (2013) destaca que entre as diversas técnicas para recuperação de áreas degradadas, a bioengenharia de solos se apresenta como uma alternativa tecnológica ambientalmente sustentável para contenção da erosão de solos em suas diversas condições de declividade, granulometria e composição, como, por exemplo, taludes e encostas, sistemas de trilhas, aterros sanitários, áreas mineradas, margens de corpos de água como reservatórios, canais de irrigação e rios, dentre outros.

A *U.S. Environmental Protection Agency (2000)* – EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) inseriu a fitorremediação nas melhores práticas de gestão das águas pluviais (*Best Management Practices – BMPs*). As BMPs fazem parte do conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low*

*Impact Development* – LID), uma abordagem ecológica de gestão das águas pluviais, para reduzir os impactos do processo de urbanização sobre os recursos hídricos, com a utilização de uma rede de vegetação que atua no controle de vazões e na mitigação da poluição difusa (UACDC, 2010).

LEWIS (2000), destaca que países como Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Suíça, Áustria e França vem se expandindo cada vez mais na aplicação da bioengenharia de solos e da fitorremediação no desenvolvimento de tipologias sustentáveis para drenagem urbana, seja por sua viabilidade técnica ou econômica como pela capacidade de mitigação da degradação ambiental e capacidade da restauração da vegetação em ambiente urbano.

Para DURLO e SUTILI (2012) no Brasil, a bioengenharia ainda é pouco conhecida e empregada. Não existe, até o momento, conhecimento suficiente sobre as características das plantas potencialmente utilizáveis, que possibilita a implantação segura de bioengenharia. Os autores ressaltam que somente com uma visão sistemática, decorrente de estudos, experimentos e observações, será possível o emprego dessas técnicas no meio.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

Compreender o conceito e os benefícios da aplicação da bioengenharia de solos e da fitorremediação no desenvolvimento de tipologias de infraestrutura natural para o manejo das águas urbanas, minimização da poluição difusa e recuperação de áreas degradadas em meio urbano.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Identificar os fatores que contribuem para o comprometimento da qualidade dos corpos hídricos urbanos;
- b) Avaliar como estas tecnologias de remediação contribuem para a descontaminação do solo e da água;

- c) Identificar oportunidades e limitações que as áreas densamente urbanizadas e impermeabilizadas impõem a aplicação da bioengenharia de solos e fitorremediação;
- d) Identificar e analisar características das tipologias aplicadas em locais no município de São Paulo e como contribuíram na qualidade ambiental do espaço urbano;
- e) Identificar áreas com potencial de aplicação dessas tecnologias no município de São Paulo e propor tipologias de infraestrutura urbana de manejo e tratamento *in situ* das águas urbanas.

#### **1.4 JUSTIFICATIVAS**

Basta começar o período de chuvas para que a população, assentada em fundos de vales ou encostas, entre em estado de alerta para o enfrentamento de enchentes, inundações, alagamentos e/ou ainda, deslizamentos (BENINI, 2015). O autor destaca que esses eventos não são decorrentes somente dos condicionantes geomorfológicos e topográficos do sítio urbano para sua ocorrência, mas também, à intensa impermeabilização do solo urbano, a exemplo da cidade de São Paulo, conforme figura 2.

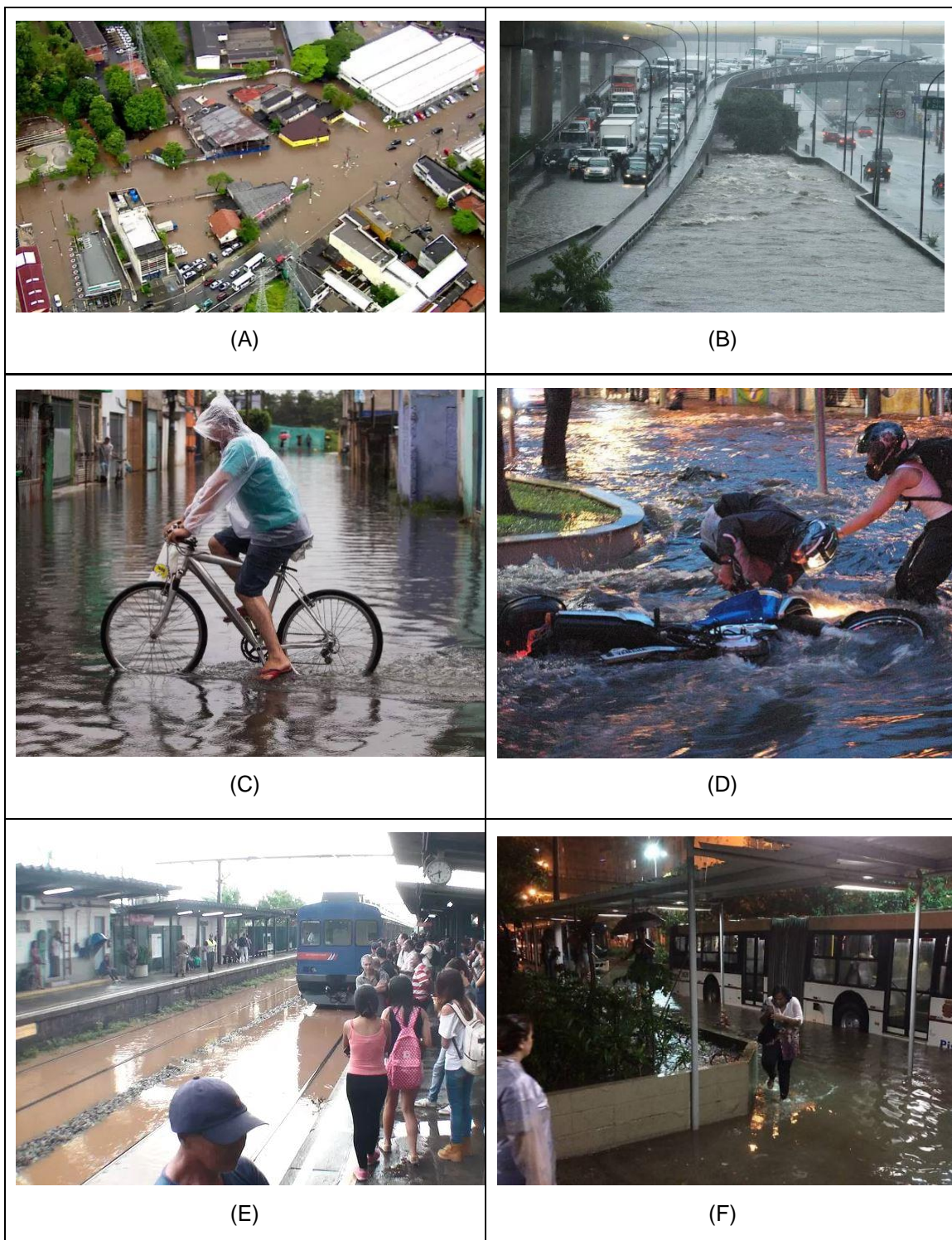


FIGURA 2: Enchentes em São Paulo - (A) Alagamento região de Santana, na zona norte da cidade de São Paulo; (B). Transbordo córrego Sacomã, região do Ipiranga, zona Sul de São Paulo; (C) Alagamento região de Itaim Paulista, na zona leste da cidade de São Paulo; (D) Alagamento região de Perdizes, na zona oeste da cidade de São Paulo; (E) Alagamento em estação de trem da CPTM, na zona sul da cidade de São Paulo; (F) Alagamento em terminal de ônibus, na zona central da cidade de São Paulo.  
Fonte: NEHN, (2015).

Para DANIEL JUNIOR (2013) os principais poluentes carregados pelo escoamento superficial são nutrientes, sedimentos, matéria orgânica, bactérias, metais pesados e demais resíduos sólidos, ocasionando impactos nos corpos receptores, tais como: assoreamento, depleção do oxigênio dissolvido, mudanças de temperatura e contaminação por organismos patogênicos, encontrados em esgotos domésticos.

A aplicação da bioengenharia de solos e da tecnologia de fitorremediação em conjunto pode desenvolver tipologias sustentáveis de manejo das águas pluviais como biovaletas, biorretentores, calçadas hídricas, wetlands construídos, ilhas e muros fitorremediadores, com a finalidade de mitigar os impactos ambientais em áreas urbanas, proteger o solo e os corpos hídricos, assim como restaurar a vegetação degradada. Sendo o parque linear, uma das mais importantes para o tratamento das águas urbanas, pois tem a função de proteger os cursos d'água e englobar todas as outras tipologias (PINHEIRO, 2015).

A aplicação de alternativas estratégicas com grande potencial como a bioengenharia de solos fitorremediação devem ser incentivadas de forma a colocar em prática novos métodos e a capacidade para solução de problemas técnicos para realizar a limpeza de ambientes degradados pelas diversas atividades humanas e os produtos que estas lançam na natureza (DURLO; SUTILI, 2012; MEJÍA; ANDREOLI; ANDREOLI, 2014).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para FACHIN (2006), a abordagem metodológica é essencial para o desenvolvimento da investigação científica, pois sem o emprego de método tudo será mera especulação sem fundamento.

YIN (2001) afirma que para a definição do método de pesquisa a ser usado é necessário que as questões sejam colocadas na investigação, ressalta que o estudo de caso é uma inquirição empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real.

O processo de pesquisa se desenvolve com o conhecimento disponível e utiliza métodos, técnicas e outros procedimentos científicos para a detecção dos problemas ou para a proposição de soluções (MIGUEL, 2007).

Esse trabalho foi realizado a partir de análise de textos de livros e artigos de revistas científicas, entrevista com especialistas, além de visitas em campo para identificação de melhores práticas e potenciais áreas de aplicação das tecnologias de bioengenharia de solos e fitorremediação, assim como o desenvolvimento de tipologias de infraestrutura verde em uma proposta de aplicação conceitual, em áreas do município de São Paulo, visando o manejo das águas urbanas.

### **2.1 APRESENTAÇÃO DE ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo, situa-se na Bacia Hidrográfica do Paraná, contida na bacia do Tietê, sub-bacia do Alto Tietê, na microbacia do Córrego Jacu, no município de São Paulo, no distrito de Itaquera como ilustrado nas figuras 3 e 4.

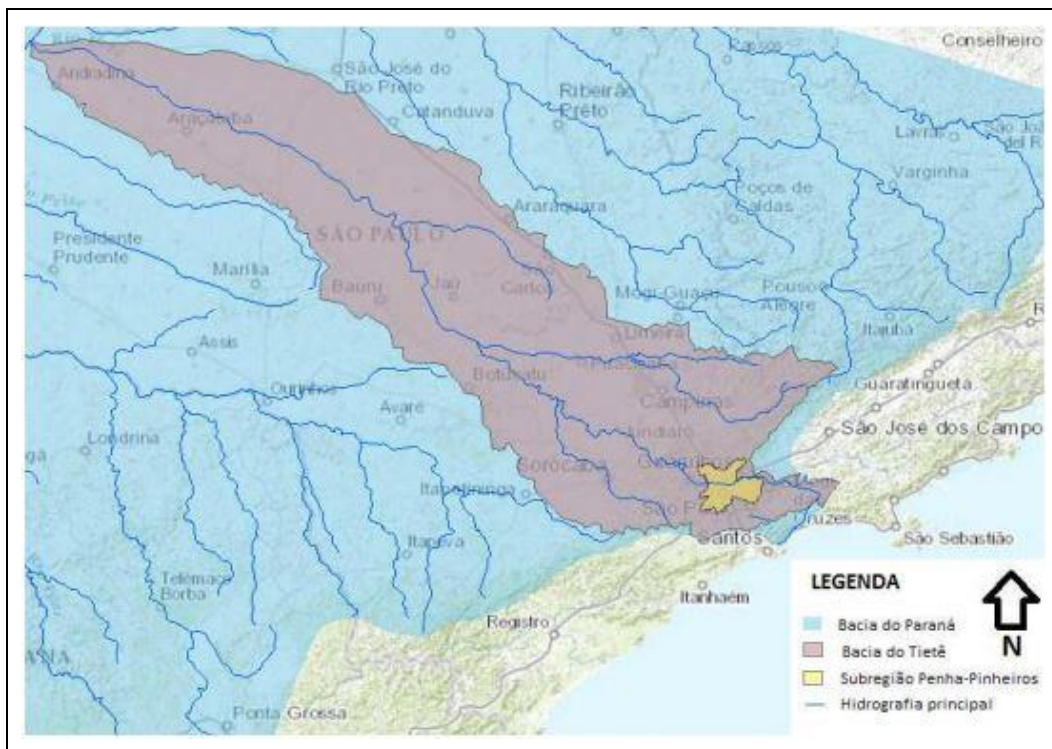


FIGURA 3: Bacia do Tietê  
Fonte: OVERA (2016)

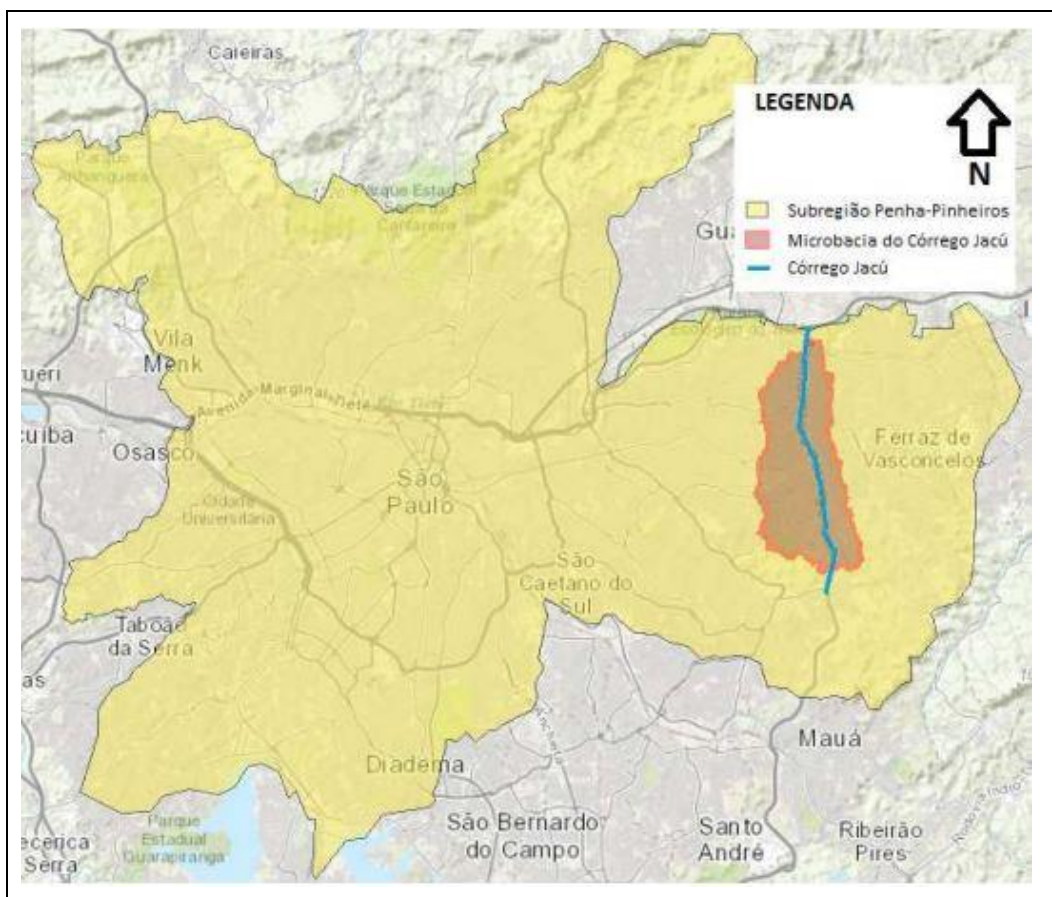


FIGURA 4: Microbacia do Córrego Jacú  
Fonte: (OVERA, 2016)

Itaquera é um distrito situado na capital paulista, no extremo leste, que se constitui por uma população de classe média baixa com cerca de 600 mil habitantes, possui trechos com vegetação original característica de mata atlântica, denominada Floresta Ombrófila Densa, e formações de várzea, e as vegetações consideradas antrópicas são compostas por áreas recuperadas, praças, espaços públicos, exemplares arbóreos em calçadas e cemitério. Apresenta uma área densamente impermeabilizada com ocupações irregulares próximas aos córregos e várzea, com grande movimento de solo realizada e supressão de vegetação o que ocasiona problemas com inundações, poluição difusa e doenças de veiculação hídrica na estação chuvosa que se dá de outubro a março.

## 2.2 RELAÇÃO DE TIPOLOGIAS APLICADAS ASSOCIADAS À BIOENGENHARIA DE SOLOS E FITORREMEDIAÇÃO

### a) Ilhas fitorremediadoras (*floating wetlands*)

Segundo PINHEIRO (2015), as ilhas fitorremediadoras são estruturas flutuantes com plantas macrófitas, usadas no tratamento de efluentes e águas superficiais. As raízes das plantas crescem livre na coluna d'água e a associação da microbiota a rizosfera forma o biofilme que filtra os poluentes da água e trata a poluição a difusa do escoamento superficial, tais como metais, nutrientes como fósforo e nitrogênio, sólidos suspensos e compostos orgânicos, como demonstrado na figura 5.



FIGURA 5: Ilha fitorremediadora – Fonte: (PINHEIRO, 2015)

## b) Alagados construídos (*wetlands construídos*)

De acordo com PINHEIRO (2015), são ecossistemas artificiais projetados para reproduzirem as funções das zonas úmidas naturais, através da utilização de plantas macrófitas flutuantes emergentes. BONZI (2013) complementa que o seu solo, além de dar suporte para a vegetação, funciona como uma camada filtrante que possibilita atividade microbiológica que mineraliza a matéria orgânica no efluente, a figura 6 ilustra o processo.

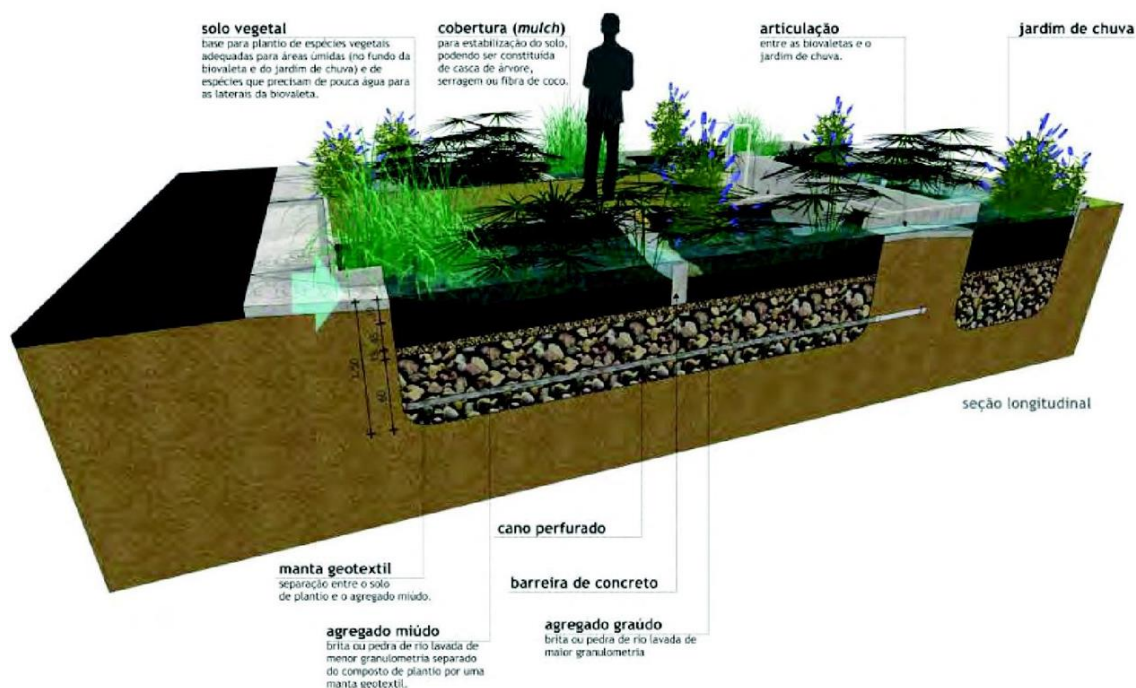


FIGURA 6: Alagados construídos - Fonte: (PINHEIRO, 2015)

## c) Muros fitorremediadores

Pinheiro (2015) em seu estudo conclui que os muros fitorremediadores são estruturas semelhantes a um jardim vertical que recebem o escoamento antes de atingir o corpo hídrico e o contato com a água quando há elevação do nível. O escoamento que infiltra por fluxo vertical tem parte da poluição retida nas raízes das plantas, assim como, os poluentes dissolvidos nas águas dos corpos hídricos que alcançam os muros fitorremediadores. As componentes são apresentadas na figura 7.



FIGURA 7: Muro Fitorremediador- Fonte: (PINHEIRO, 2015)

#### d) Calçadas hídricas (passeios drenantes)

Trata-se de uma solução que contribui para o funcionamento do ciclo natural da água ao absorver, reter, filtrar e direcionar a água com qualidade para os lençóis freáticos. Ele atua como um primeiro filtro da água que é drenada, pois retém partes sólidas e gráúdas das impurezas, além de reduzir a temperatura. Em seguida, a água é direcionada aos drenos, uma alma de plástico PP (polipropileno) e uma pele de geotêxtil (não agride o meio ambiente e é 100% reciclável). Eles armazenam o excedente e o liberam gradativamente ao solo, evitando os alagamentos. A Figura demonstra corte esquemático da calçada hídrica. O processo é exemplificado na figura 8.

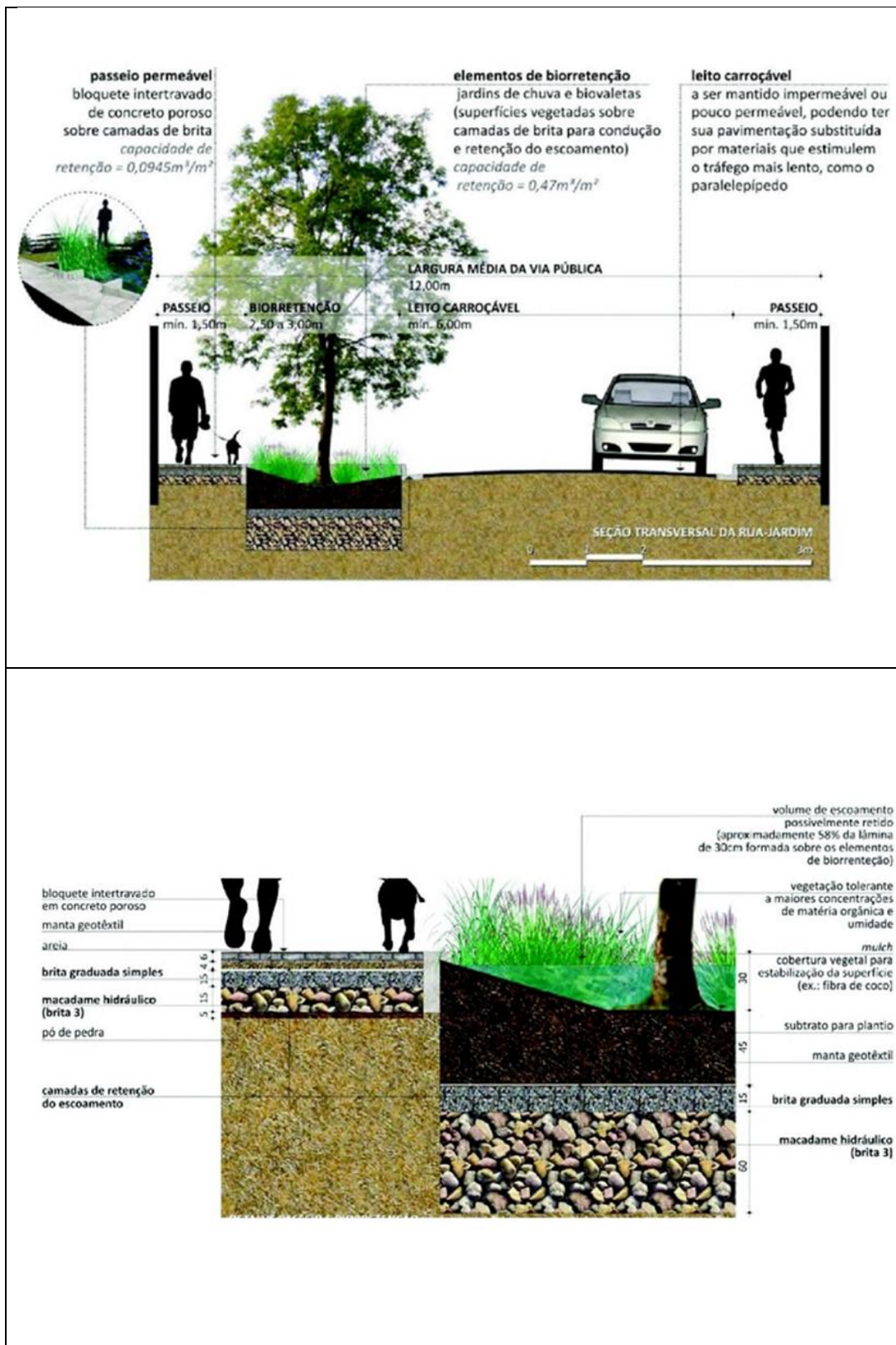


FIGURA 8: Passeios Drenantes- Fonte: (PINHEIRO, 2015)

### e) Biovaletas (canais ou trincheiras verdes)

Em seu estudo MOURA, PELLEGRINO e MARTINS (2014) evidenciam que as biovaletas são depressões lineares preenchidas com vegetação, solo e demais elementos filtrantes, que processam um limpeza da água da chuva, ao mesmo tempo que aumentam o tempo de escoamento. A figura 9 ilustra o processo.

Valetas com cobertura vegetal promovem a filtragem da água da chuva e retardam seu tempo de escoamento. E o seu processo construtivo tem as seguintes etapas:

- Pedra e pedrisco: sobre a camada de brita 3 que envolve a tubulação de drenagem, é adicionada uma camada de pedra britada número 1 (brita 1) sobreposta por uma camada de pedrisco;
- Biomantas: acima desta camada de pedrisco pode ser colocada uma manta de drenagem sobre o dreno de fundo por toda a extensão da biovaleta, com largura aproximada de 50% da largura total, para proteger a tubulação de potencial colmatação do material filtrante;
- Solo filtrante: sobre a última camada é adicionado solo composto (constituído de 60% de areia média, 30% de areia fina e 10% de composto orgânico vegetal). A camada tem espessura de 0,5 m;
- Cobertura vegetal: uma camada de cobertura vegetal morta é adicionada na área da biovaleta. Esse material seco, denominado como "*mulch*", é composto por aparas de grama, folhas secas, poda triturada, maravalha, entre outros. Deve formar uma camada total de 10 cm de espessura.

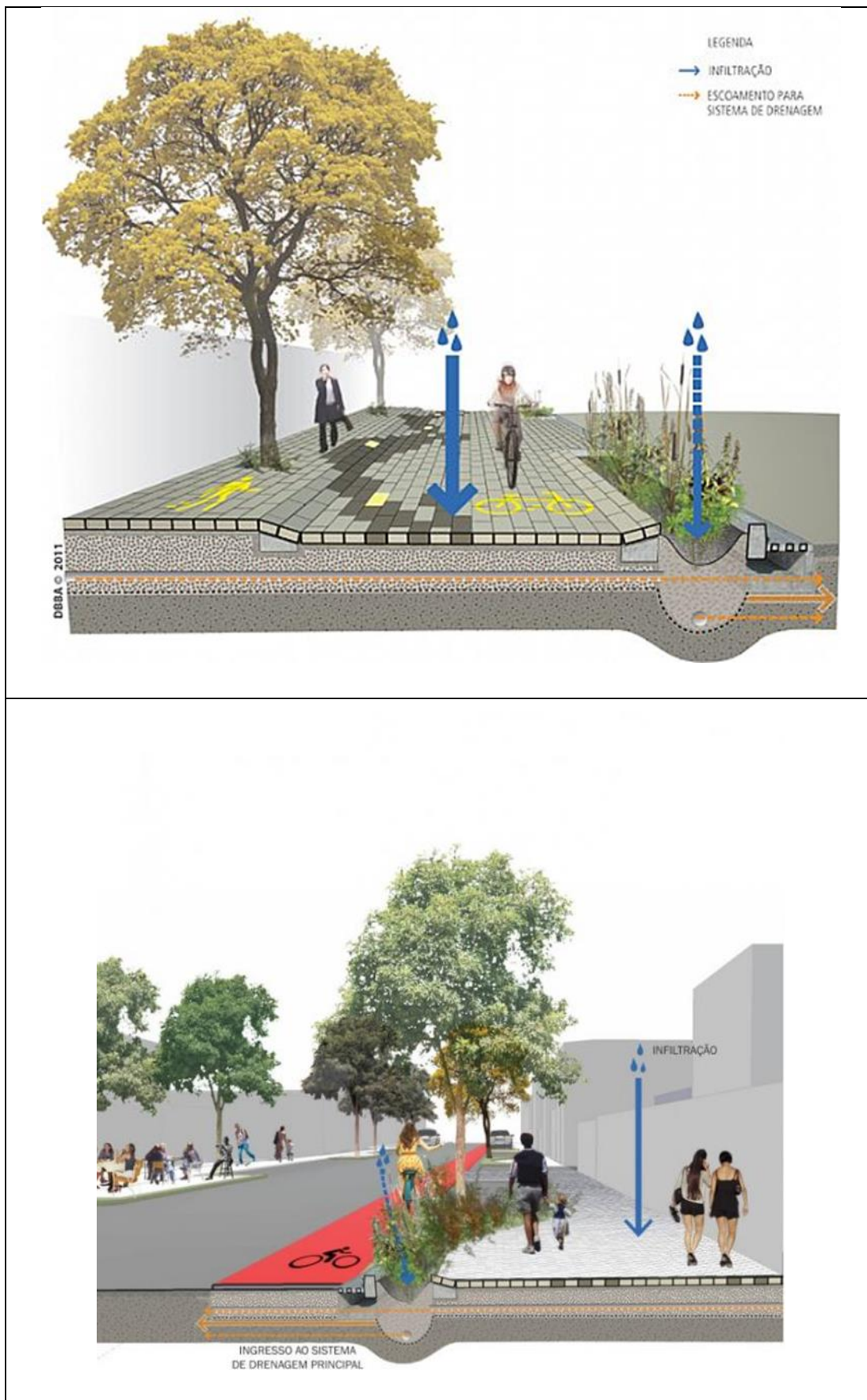


FIGURA 9: Biovaletas- Fonte: (PINHEIRO, 2015)

## 2.3 SUGESTÃO DE BIOMATERIAIS PARA APLICAÇÃO

### a) Biomantas de fibras vegetais

As biomantas ou telas vegetais são esteiras constituídas de fibras vegetais desidratadas que são entrelaçadas por meio de costuras de fios, látex natural e são aplicadas sobre a superfície que deseja proteger, acerto e regularização eliminando sulcos erosivos, o preenchimento de espaços vazios e a ancoragem de sedimentos, protege o solo dos impactos das chuvas e retém a umidade. Essa retenção propicia condições mais adequadas de germinação e desenvolvimento das espécies vegetais semeadas, além de fornecer nutrientes, pois, são degradáveis e servem de fonte de matéria orgânica para o solo, auxiliando em sua estruturação. Nesse estudo foi escolhida a aplicação de biomantas de fibras de coco e bananeira e fixadas com grampos de bambu.

### b) Estacas vivas

De acordo com ARAUJO, ALMEIDA E GUERRA (2013), o estaqueamento envolve a inserção de estacas vegetativas, vivas e enraizadas no solo, sendo utilizadas como tratamento primário para consertar pequenas depressões e reparo de pequenos deslizamentos que contenham solos úmidos, também podem ser utilizadas para proteção auxiliar em torno de barragens e cabeceiras contra a formação de voçorocas. Ao longo do tempo, desenvolve uma manta de raízes vivas no solo, reforçando e mantendo juntas as partículas do solo e extraindo a umidade excessiva.

### c) *Mulching*

A cobertura de solo (*mulch*, em inglês) é utilizada para manter a umidade e a temperatura, diminuir crescimento de ervas daninhas, proteger raízes de temperaturas extremas, ajudar a controlar a erosão do solo e até somente prover fins estéticos. Trata-se de uma camada fina de 5 cm – em média – de matéria orgânica seca depositada na superfície do solo, tomando-se o cuidado para não criar uma camada grossa, o que implicaria em um ambiente sem oxigenação. Todas estas vantagens são traduzidas em menor custo, maior produtividade e qualidade dos produtos.

A ideia é cobrir toda a área não plantada, deixando de fora somente alguns centímetros ao redor de cada planta. Os materiais são os mais diversos possíveis. Alguns exemplos: palha, aparas de grama, folhas, aparas de madeira e serragem, lascas de casca de coco, casca de cacau, etc.

Com a decomposição do *mulch* há fornecimento de nutrientes ao solo e oligoelementos, substâncias biocatalisadoras, que enriquecem o solo e melhoram a sua estrutura. O processo de *mulching* seguido pela decomposição do material orgânico é essencial para a humificação que fornece húmus ao solo.

## 2.4 SUGESTÃO DE MATERIAIS VIVOS PARA APLICAÇÃO

Durante a pesquisa foi identificada presença de vegetação secundária em estágio inicial de regeneração do Bioma Mata Atlântica e domínio fitogeográfico Floresta Ombrófila Densa. Baseada nessa identificação, foi priorizado o uso de vegetação nativa para todas as tipologias fitorremediadoras e biotécnicas de bioengenharia de solos. Entretanto, sugere-se a utilização de duas espécies exóticas que auxiliam a vegetação nativa na estabilidade de encostos e no tratamento de efluentes.

A seguir a tabela 1 apresenta a relação de plantas selecionadas para aplicação nas tipologias propostas nesse estudo:


TABELA 1: Espécies com características fitorremediadoras		
Espécie	Classificação	Função / aplicação
	<p>Nome científico: <i>Heliconia psittacorum</i> Linn.f.</p> <p>Nome popular: Helicônia papagaio</p> <p>Família: <i>Musaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características para recomposição da mata ciliar.</p> <p>Aplicação: Fitorremediação</p>

TABELA 1: Espécies com características fitorremediadoras		
Espécie	Classificação	Função / aplicação
	<p>Nome científico: <i>Ctenanthe setosa</i></p> <p>Nome popular: Maratanza cinza</p> <p>Família: <i>Marantaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características biotécnicas para estabilização de solos de encostas e margem, assim como recomposição da mata ciliar</p> <p>Aplicação: bioengenharia de solos</p>
	<p>Nome científico: <i>Juncus effusus</i></p> <p>Nome popular: Junco</p> <p>Família: <i>Juncaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie de planta tipo macrófita para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas.</p> <p>Aplicação: fitorremediação</p>
	<p>Nome científico: <i>Eichhornia crassipes</i></p> <p>Nome popular: Aguapé</p> <p>Família: <i>Pontederiaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie de planta tipo macrófita</p> <p>Aplicação: fitorremediação</p>

TABELA 1: Espécies com características fitorremediadoras		
Espécie	Classificação	Função / aplicação
	<p>Nome científico: <i>Cyperius giganteus</i></p> <p>Nome Popular: Papiro brasileiro</p> <p>Família: <i>Cyperaceae</i></p> <p>Origem: Nativa</p>	<p>Espécie para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características para recomposição da mata ciliar.</p> <p>Aplicação: fitorremediação</p>
	<p>Nome científico: <i>Myriophyllum aquaticum</i></p> <p>Nome popular: Pinheirinho d'água</p> <p>Família: <i>Haloragaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie de planta tipo macrófita. Aplicação: fitorremediação</p>
	<p>Nome científico: <i>Typha latifolia</i></p> <p>Nome popular: Taboa</p> <p>Família: <i>Typhaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características para recomposição da mata ciliar.</p> <p>Aplicação: fitorremediação</p>

TABELA 1: Espécies com características fitorremediadoras		
Espécie	Classificação	Função / aplicação
	<p>Nome científico: <i>Salix humboldtiana</i> wild.</p> <p>Nome Popular: Salgueiro, chorão</p> <p>Família: <i>Salicaceae</i></p> <p>Origem: nativa</p>	<p>Espécie para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características biotécnicas para estabilização de solos de encostas e margem, assim como recomposição da mata ciliar</p> <p>Aplicação: bioengenharia de solos</p>
	<p>Nome científico: <i>Zantedeschia aethiopica</i></p> <p>Nome Popular: Copo-de-leite</p> <p>Família: <i>Araceae</i></p> <p>Origem: África do Sul</p>	<p>Espécie para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características para recomposição da mata ciliar.</p> <p>Aplicação: fitorremediação</p>
	<p>Nome científico: <i>Chrysopogon ziznioides</i></p> <p>Nome Popular: Capim-vertiver</p> <p>Família: <i>Poaceae</i></p> <p>Origem: Índia</p>	<p>Espécie de planta tipo macrófita para solos úmidos, sujeitos a inundações periódicas, mas sem excesso de água. Possui características biotécnicas para estabilização de solos de encostas</p> <p>Aplicação: bioengenharia de solos e fitorremediação</p>

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 3.1 PROPOSTA DE AÇÕES

Para o distrito de Itaquera, no extremo leste da capital do estado de São Paulo, foram propostas as seguintes ações de bioengenharia de solos e fitorremediação:

- Eliminação do principal vetor de poluição das águas dos córregos com a implantação de sistemas de esgotamento sanitário e destinação do esgoto coletado a estações de tratamento de esgoto da concessionária do município e reduzindo a probabilidade de doenças de veiculação hídrica;
- Para a melhoria do indicador de qualidade das águas dos córregos realizar o tratamento *in situ* com a instalação de ilhas fitorremediadoras;
- Restauração da vegetação nativa da mata ciliar com características do Bioma Mata Atlântica e domínio fitogeográfico Floresta Ombrófila Densa, permitindo assim maior infiltração e armazenagem no lençol freático e nascentes, e redução do assoreamento dos córregos;
- Em decorrência da retificação dos corpos hídricos urbanos e da ocupação das várzeas, serão propostas duas alternativas para resolução dos problemas de impermeabilização do solo:
  - A primeira alternativa é a remoção das ocupações irregulares das várzeas e alargamento da área de cheia dos córregos de acordo com o comportamento hidrológico característico do corpo hídrico, favorecendo a recomposição da mata ciliar e restauração da sinuosidade do corpo d'água.
  - A segunda alternativa na impossibilidade de remoção da retificação em decorrência da forte urbanização no entorno, é a instalação da tipologia muro fitorremediador em estruturas tipo gabiões, que facilitam a infiltração das águas nas laterais dos córregos retificados. Os muros fitorremediadores tem o objetivo de tratar as águas dos corpos hídricos, tratando os poluentes dissolvidos nas águas;

- Em áreas que possuem a impossibilidade de remoção das ocupações irregulares e áreas extremamente impermeabilizadas pelo processo urbanístico sugere-se a instalação de biovaletas, ao longo das ruas perimetrais e arteriais. Nos passeios existentes implantar calçadas hídricas, minimizando os impactos dos alagamentos pluviais e no entorno instalar jardins filtrantes para maior permeabilidade das áreas;
- Nas áreas em que ocorrer a remoção das ocupações realizar a instalação, nas margens dos córregos, de alagados construídos para tratamento superficial do escoamento provindo das biovaletas;
- Para as encostas aplicar biomaterias para estabilização, através do reforço e drenagem do solo pelas raízes, que estabilizam camadas superficiais de até 1,5 metro, mitigação dos impactos da erosão e redução do carreamento de sedimentos.

### 3.2 BIOARQUITETURA DAS TIPOLOGIAS IMPLANTADAS

A tabela 2 apresenta sugestões de combinações de tipologias para bioarquitetura dos dispositivos de manejo das águas urbanas:

**TABELA 2: Tipologias de Infraestrutura Verde**

Tipologia	Material Vivo	Biomaterial
Ilhas fitorremediadoras	- Aguapé - Pinheirinho d'água - Junco	- Biomantas de fibras vegetais
Alagados construídos	- Helicônia papagaio - Papiro brasileiro - Taboa	- Biomantas de fibras vegetais
Muros fitorremediadores	- Junco	- Biomantas de fibras vegetais
Biovaletas		- Biomantas de fibras vegetais - <i>Mulching</i>
Calçadas hídricas		- Biomantas de fibras vegetais
Jardins de chuva	- Copo-de-leite - Papiro brasileiro	- Biomantas de fibras vegetais
Estabilização de encostas	- Maratanza cinza - Capim-vertiver	- Biomantas de fibras vegetais - Estacas vivas

### 3.3 BENEFÍCIOS

A Tabela 3 apresenta os principais benefícios da aplicação da bioengenharia de solos e da fitorremediação no manejo das águas urbanas na área em estudo.

**TABELA 3: Benefícios das tipologias de manejo das águas urbanas**

<b>Imediatos</b>	<b>Intermediários</b>	<b>Finais</b>
A melhoria da infiltração da água no solo: com a redução de erosões associadas ao escoamento superficial das águas das chuvas.	Melhoria das condições estéticas e de habitação com a redução dos altos níveis de contaminação de rios e canais.	Restauração ambiental dos corpos hídricos urbanos.
Diminuição de cheias. Evitam o escoamento superficial das águas e contribui para que não ocorra alagamentos e enchentes no meio urbano.	Melhoria nos índices de doenças de veiculação hídrica, entre as quais cólera, amebíase, vários tipos de diarreia, peste bubônica, lepra, meningite, pólio, herpes, sarampo, hepatite, febre amarela, gripe, malária, leptospirose, ebola.	Recuperação da ictiofauna dos corpos d'água urbanos.
Saneamento de residências.	Diminuição do desperdício com a racionalização do consumo de água.	Recomposição da Mata Ciliar.
Estabilidade do solo com a aplicação de biotécnicas, sendo que raízes dos materiais vivos propiciam a maior fixação do solo, diminuindo os riscos de deslizamentos.	Redução da impermeabilização do solo evitando a ocorrência de inundações em perímetros urbanos densamente povoados que 'lavam' as ruas carreando lixo, além de imporem perdas econômicas aqueles que têm suas propriedades invadidas ou que não podem simplesmente acessar seus locais de trabalho.	Melhoria da qualidade da saúde infantil com redução da mortalidade infantil.
	A proteção dos corpos d'água e do solo: filtra as impurezas das águas, além de impedir a condução direta de poluentes ao lençol freático.	A conservação genética da flora nativa: com a proliferação das espécies nativas, salvaguardo os exemplares da própria região.

## 4 CONCLUSÃO

Esse estudo evidenciou que a aplicação dos conceitos da bioengenharia de solo e fitorremediação pode ajudar na descontaminação dos corpos hídricos urbanos e no manejo das águas pluviais, ao mesmo tempo que reduz a probabilidade de existência de agentes patogênicos causadores de doenças de veiculação hídrica, deslizamentos e poluição difusa.

Na proposta conceitual desse estudo propôs alguns biomateriais, algumas espécies de materiais vivos e tipologias de infraestrutura verde que contribuem para manejo das águas urbanas, assim como para recuperação ambiental de todo o entorno.

Esse estudo procura evidencia também que a aplicação dessas intervenções fundamentadas nas biotécnicas da bioengenharia de solos e nos conceitos da fitorremediação demonstram que natureza e cidade não são entidades antagônicas e podem coexistir desde de que haja uma conscientização ambiental e comprometimento na preservação do meio ambiente.

Além de sugerir tipologias a serem implantadas assim como possíveis biomateriais, é apresentada também uma relação dos benefícios imediatos, intermediários e finais demonstrando que os benefícios a curto, médio e longo prazo do manejo das águas urbanas contribuem para melhoria da qualidade de vida de todo o meio urbano.

## 5 REFERÊNCIAS

ARAUJO, G. H. DE S.; ALMEIDA, J. R. DE;; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 10<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 322 p.

BENINI, S. M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP**. - Presidente Prudente - São Paulo: - UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho,” 2015.

BONZI, R. S. Paisagem como infraestrutura de tratamento das águas urbanas. **Artigo nº 01 - Revista LABVERDE nº 06**, p. 15 – 38, jun. 2013.

CARVALHO, K. O. DE. **Drenagem Pluvial Convencional x Sustentável: Estudo de Caso nos bairros Baraúnas e Centenário Feira de Santana**. - Feira de Santana - Salvador: - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010.

DANIEL JUNIOR, J. J. D. **Avaliação de uma Biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. - Santa Maria - Rio Grande do Sul: - UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água**. 2<sup>a</sup>. ed. - Santa Maria - Rio Grande do Sul: Edição Digital, 2012. p. 189

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Introduction to Phytoremediation. **U.S. Environmental Protection Agency**, p. 1–72, 2000.

FACHIN, O. **Fundamentos de Metodologia**. 5<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. p. 226

LEWIS, L. **Soil bioengineering An Alternative for Roadside-a Practical Guide**- United States Department of Agriculture, , 2000. (Nota técnica).

MARUTA, J. Moradores do Jardim Pantanal se preparam para a próxima enchente. **JORNAL DA USP**, 12 maio 2017.

MEJÍA, P. V. L.; ANDREOLI, F. D. N.; ANDREOLI, C. V. Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. - **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, p. 97 – 104, mar. 2014.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. - **Artigo 01 - Revista Produção Online**, v. 17, p. 216–229, 2007.

MOURA, N. C. B. DE; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças. - **Revista Paisagem e Ambiente: Ensaios N°34**, p. 107 – 128, dez. 2014.

NEHN, A. Temporal fecha Congonhas, deixa bairros alagados e provoca caos em São Paulo. **REVISTA VEJA**, mar. 2015.

OVERA, A. F. **PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO LOCAL NA BACIA DO CÓRREGO JACÚ A PARTIR DA IMPLANTAÇÃO DA ARENA EM ITAQUERA**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2016.

PINHEIRO, M. B. Aplicação da Fitorremediação em função de tipologias de infraestrutura verde em microbacias urbanas da cidade de São Paulo. - **Artigo 06 - Revista LABVERDE nº10**, p. 134 –154, ago. 2015.

RIBEIRO, M. E. J. **Infraestrututa verde: Uma estratégia de conexão entre pessoas e lugares - Por um planejamento urbano ecológico para Goiânia**. [s.l.] - USP - Universidade de São Paulo, 2010.

SCHMEIER, N. P. Bioengenharia de Solos: Uma alternativa à recuperação de áreas degradadas. - **Artigo 04 - Revista Destaques Acadêmicos CETEC / UNIVATES**, p. 127 – 130, 2013.

TAVARES, S. R. DE L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. [s.l.] - UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

UACDC, U. OF A. C. D. C. **Low Impact Development - a design manual for urban areas**Arkansas: University of Arkansas, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de Caso - Planejamento e Métodos**. [s.l.] Bookman, 2001. 164p.

ZANIRATO, S. H. História da Ocupação e das Intervenções na Várzea do Rio Tietê. p. 117–129, 2011.