

**ALVARO FERRO CAETANO
ANDRÉ PAULINI
FERNANDA GUEDES SANTOS**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE TÉCNICA DE BIOENGENHARIA PARA
A REVITALIZAÇÃO DAS MARGENS DO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ**

São Paulo
2018

**ALVARO FERRO CAETANO
ANDRÉ PAULINI
FERNANDA GUEDES SANTOS**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE TÉCNICA DE BIOENGENHARIA PARA
A REVITALIZAÇÃO DAS MARGENS DO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ**

Projeto de Formatura
apresentado à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia
Ambiental

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Amarilis L. C. F. Gallardo

São Paulo

2018

CAETANO, ALVARO FERRO
ESTUDO DE VIABILIDADE DE TÉCNICA DE BIOENGENHARIA PARA A
REVITALIZAÇÃO DAS MARGENS DO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ / A. F.
CAETANO, A. PAULINI, F. G. SANTOS -- São Paulo, 2018.
114 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1. Revitalização de córregos 2. Bioengenharia de córregos I. Universidade de
São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e
Ambiental II.t. III. PAULINI, ANDRÉ IV. SANTOS, FERNANDA GUEDES

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias por todo cuidado e zelo com a nossa educação, esse investimento é que nos trouxe até aqui. Tivemos uma atenção especial para que todo amor e afeto recebido pudesse estar presente em cada elemento que compõe esse trabalho.

À Prof.^a Dr.^a Dione Mari Morita e ao Prof. Dr. Renato Carlos Zambon pelo apoio e direcionamento oferecidos, que foram além da coordenação de Trabalhos de Formatura da Engenharia Ambiental de 2017.

Ao Prof. Dr. Paulo Renato Mesquita Pellegrino e à Maria Sampaio Bonafé pelo apoio com fornecimento de dados e referências.

À Solange Santos Silva Sanchez, Coordenadora de Planejamento da Subprefeitura do Butantã, pela confiança em nós depositada e fornecimento de dados sobre a região, bem como por todas as inestimáveis contribuições oferecidas.

À Larissa Arakawa Martins, por ceder gentilmente sua pesquisa referente ao projeto realizado na Praça das Corujas, no bairro da Vila Madalena, no município de São Paulo.

À Poli Cidadã, representada pela figura do ProfºAntonio Luís de Campos Mariani pelo apoio fundamental ao nosso trabalho, exaltando que o conhecimento adquirido na escola deve ter um impacto e retorno social.

Ao André, que conseguiu externalizar em cada traço o nosso plano e enriquecer nosso trabalho.

Por fim, à nossa querida professora, orientadora e amiga, Prof^a. Dr^a Amarilis Gallardo, pela atenção e comprometimento durante esse período. Além de nos confiar um trabalho tão importante como este, que nos dá a chance de propor um projeto para análise e implementação pela prefeitura, sua orientação foi um diferencial para nós e ficará devidamente guardada em nossas lembranças. Nosso profundo obrigado!

RESUMO EXECUTIVO

No presente trabalho, avaliou-se uma técnica de bioengenharia de solos com o intuito de propor uma solução para a recuperação ambiental das margens do córrego Corveta Camacuã, localizado no distrito da Vila Sônia, no município de São Paulo, para o qual o Plano Diretor Estratégico (PDE) prevê a implantação de parque linear. Deve-se ressaltar que a recuperação das margens é condição primordial para que a implantação futura de um parque linear ocorra.

As técnicas convencionais para obras de drenagem são onerosas e pouco sustentáveis. Desse modo, a bioengenharia surge como uma alternativa, que por meio de vegetação e matérias vivas infere resistência ao solo, sem perder características fundamentais do ambiente, permitindo que parâmetros sejam mantidos.

O trabalho é um estudo alternativo que contempla os aspectos de desempenho ambiental, como demonstra o propósito da bioengenharia de solos, sugerindo a melhor técnica e sua implementação.

E por fim, o aspecto social, ocorrendo comunicação com a comunidade existente na região, pensando-se na importância da intervenção e melhorias que os moradores encontrarão com a implementação do projeto. Podendo separar sua importância em: valorização física do espaço social; por meio da integração entre a comunidade e o meio ambiente; e na consciência ambiental que se dá por meio da educação.

Para isso, contou-se com o apoio da Poli Cidadã, programa que desenvolve soluções práticas e sociais em áreas de engenharia.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

B	Largura total
b	Largura do leito
BL	Borda livre
BOH	Bosque Heterogêneo
H	Altura total do canal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
l/s	Litros por segundo
MOD	Mata Ombrófila Densa
m	Inclinação das margens
m	Metros
mm	Milímetros
PDE	Plano diretor estratégico
PDESP	Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo
Pmolhado	Perímetro molhado
PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
Rh	Raio hidráulico
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
σ	Tensão de arraste

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CÓRREGO	11
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE OBJETO DE ESTUDO	11
2.1.1 LOCALIZAÇÃO	11
2.1.2 DADOS GERAIS.....	13
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CÓRREGO	15
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO TRECHO A TRECHO	18
2.2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DE CADA TRECHO	34
2.3 ESTUDOS PRÉVIOS NO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ	39
2.3.1 PROGRAMA MUNICIAPAL PARA RECURSOS HÍDRICOS ...	41
2.3.2 PARQUE LINEAR	42
3. BIOENGENHARIA DE SOLOS	44
3.1 HISTÓRIA	45
3.2 CONCEITOS BÁSICOS.....	46
3.3 VEGETAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO	48
3.3.1 CAPIM VETIVER	51
3.3.2 DIVERSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS.....	53
3.3.3 PROTEÇÃO DO SOLO	56
3.3.4 BRUSHLAYERING – CAMADAS DE RAMOS	58
4. DADOS OBTIDOS PARA O PROJETO	59
4.1.1 METODOLOGIA UTILIZADA	60
4.1.2 HIPÓTESES ADOTADAS E PARÂMETROS UTILIZADOS	61
4.2 RESULTADOS OBTIDOS	64
4.3 REPRESENTAÇÃO HIDRÁULICA DO CÓRREGO	65

4.4 PERFIL DO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ	66
4.5 CÁLCULO DA VAZÃO NATURAL	70
4.6 CÁLCULO DA VAZÃO SUPERFICIAL - MÉTODO RACIONAL ...	75
4.7 CÁLCULO DA TENSÃO DE ARRASTE	79
5. A PROPOSTA.....	81
5.1 ESTUDO PRELIMINAR	82
5.1.1 REUNIÕES COM MORADORES E SUBPREFEITURAS	82
5.1.2 PARCERIA COM ESCOLAS DA REGIÃO	83
5.1.3 PARTIDOS DO PROJETO	83
5.2 DIRETRIZES PARA O PROJETO BÁSICO	84
5.2.1 ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	84
5.2.2 TERRAPLANAGEM INICIAL	84
5.2.3 ESCOLHA E DISPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	84
5.2.4 DO PLANTIO	87
5.2.4.1 FAIXA DE VETIVER	87
5.2.4.2 FAIXA DE VEGETAÇÃO MISTA	91
5.2.4.3 EQUIPAMENTOS PARA O PARQUE LINEAR	95
5.2.5 PISCINÃO ECOLÓGICO	95
6. CONCLUSÕES SOBRE O PROJETO	98
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

A busca da reversão do quadro de degradação ambiental dos rios urbanos é um tema central na promoção da sustentabilidade nas cidades e objeto de políticas urbanas e ambientais (Silva-Sánchez e Jacobi, 2012). Ao mesmo tempo, a recuperação dos córregos urbanos enseja uma série de desafios que podem ser superados com uma abordagem técnica, como emprego de técnicas digitais para desenvolvimento de projetos (Nóbrega, Barros e Quintanilha, 2008). Nesse contexto, também se insere o uso da infraestrutura verde como uma alternativa técnica a ser considerada na intervenção de cursos de água baseada em estratégias que se pautam em tecnologia, projeto e planejamento urbano (Moura, Martins e Pellegrino, 2017).

A partir desta motivação, estabelece-se o desenvolvimento desse projeto, em que se apresenta uma proposta de intervenção nas margens do córrego Corveta Camacuã, situado no distrito da Vila Sônia, no município de São Paulo. O córrego Corveta Camacuã localiza-se na bacia do Alto Tietê e na sub-bacia do Pirajuçara, possui 1,8 km de extensão, 0,72 km² de área e vazão de 3,0 l/s. Esse córrego urbano encontra-se no escopo de dois programas de políticas públicas paulistas de revitalização de córregos urbanos, o Programa Córrego Limpo (PCL) e o Programa de Recuperação Ambiental de Cursos D'Água e Fundos de Vale, que preconiza, dentre outras diretrizes, a implantação de parques lineares, esse último uma das diretrizes do Plano Diretor Estratégico (PDE) do município de São Paulo.

O Programa Córrego Limpo é uma parceria da empresa de Saneamento Sabesp e a Prefeitura do Município de São Paulo, que tem por objetivo a melhoria da qualidade da água dos corpos hídricos. Para isso, a Sabesp foi responsável pela execução as obras de prolongamento das redes, coletores e interceptores, enquanto que a Prefeitura era responsável por reassentar as famílias que vivem em áreas de risco, implantar parques lineares e fiscalizar as ligações de esgoto. Com esse programa, previa-se que até dezembro de 2012, 150 córregos seriam despoluídos, 2340.000 habitantes beneficiados e 1750 l/s de vazão de esgoto retirados (Souza, 2018).

O Programa de Recuperação Ambiental de Cursos D'Água e Fundos de Vale foi introduzido no Plano Diretor Estratégico (PDE) do município de São Paulo e envolve ações de recuperação, despoluição e reassentamento da população, com o objetivo de recuperar os córregos e permeabilidade por áreas verdes, principalmente para minimizar possíveis pontos de enchentes (SILVA-SÁNCHEZ). O programa ainda não foi totalmente efetivado, tendo sido implantados parques lineares e caminhos verdes para recuperação ambiental em apenas alguns fundos de vales.

Neste contexto, é que surge a necessidade de buscar técnicas alternativas para resolver os problemas das margens do córrego em questão. Este sofreu com as intervenções convencionais em alguns dos seus trechos, como o uso de muro de gabião que resolveu temporariamente o problema. Porém, na atualidade, devido à falta de manutenção vem ocorrendo a desestabilização contínua do talude, agravada nas distintas condições sazonais de regime hídrico.

Segundo Herzog e Rosa (20x10, p.92): “a infraestrutura verde num meio urbano consolidado consiste em uma rede multifuncional verde-azul (vegetação - sistemas hídrico/drenagem) que incorpora o retrofit (renovação) e adaptação da infraestrutura existente”.

A bioengenharia de solos é a técnica existente desde tempos remotos que busca soluções para esses problemas através do uso de materiais naturais e inertes, de forma a criar sistemas vivos que sirvam para recompor, estabilizar, recuperar e proteger áreas degradadas (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

Desse modo, as técnicas de bioengenharia de solos são uma alternativa de relação custo-benefício viável, cumprindo as necessidades técnicas de estabilização dos taludes e contenção da erosão de forma sustentável, agregando serviços ecossistêmicos. Nos últimos anos tem-se reforçado a necessidade de mudanças de paradigmas na adoção de práticas tradicionais, impondo à engenharia novos desafios de modo a desenvolver projetos que contribuam para a agenda de cidades sustentáveis e resilientes, uma vez que a

sociedade tem sofrido com problemas decorrentes dos impactos da degradação ambiental.

Este trabalho pretende discutir uma proposta para intervenção das margens do córrego Corveta Camacuã contribuindo com essa perspectiva de fortalecimento da visão integrada de projeto ao ambiente. Para tanto, reforçando o uso de soluções alternativas às convencionais, priorizando recursos renováveis e potencialidades de materiais naturais, observando-se expectativas da população e desenvolvimento sustentável, sem perder de vista a viabilidade técnica e econômica do projeto na busca pela melhor relação custo-benefício e quantificar benefícios até então intangíveis.

O capítulo 2 deste relatório expõe as características da área onde o córrego é situado, tanto do meio físico quanto do uso humano. O capítulo 3 apresenta estudos e intervenções que ocorreram no córrego no passado, bem como os programas municipais que a contemplam e seus resultados até a data. O Capítulo 4 busca entender a bioengenharia de solos desde os reportes iniciais de sua aplicação, seus objetivos, seu suporte e potencialidades a partir da vegetação. O capítulo 5 caracteriza o córrego, ilustrando as diferenças que ele possui entre os trechos e como isso fora abordado no estudo, explica e apresenta os cálculos referentes à hidrologia local e demonstra o potencial erosivo que as águas podem apresentar. O capítulo 6 é composto pela análise de viabilidade sobre a técnica de bioengenharia de solos a ser utilizada (como método vegetação), sua conformidade com a situação deste córrego em específico e custos estimados. O capítulo 7 conclui este trabalho, esclarecendo a viabilidade e importância da aplicação de uma engenharia sustentável. O capítulo 8 traz as referências bibliográficas consultadas, seguido pelos anexos, a trazerem imagens que facilitarão o entendimento do leitor sobre todo o conteúdo exposto.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CÓRREGO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE OBJETO DE ESTUDO

Neste capítulo, será apresentado o resultado do levantamento de informações e dados históricos sobre a área onde se encontra o córrego estudado, desde características do meio físico ao uso social.

2.1.1 LOCALIZAÇÃO

A área analisada consiste na praça Flora Rica, com seu início onde a rua Lessia Ukrainka termina e a rua Corveta Camacuã é iniciada, ponto em o córrego aflora (após canalização), e segue nos entornos do córrego Corveta Camacuã até sua recanalização na avenida Jorge João Saad, localizado no distrito Vila Sônia, na macrorregião do Butantã, zona oeste da cidade de São Paulo, como ilustrado na figura 1. Está inserida na sub-bacia do córrego Pirajuçara - região de 72,24 km² que inclui três municípios, São Paulo, com 38,24 km², Embu, com 15 km² e Taboão da Serra, com 19 km² - pertencente à bacia do Alto Tietê.

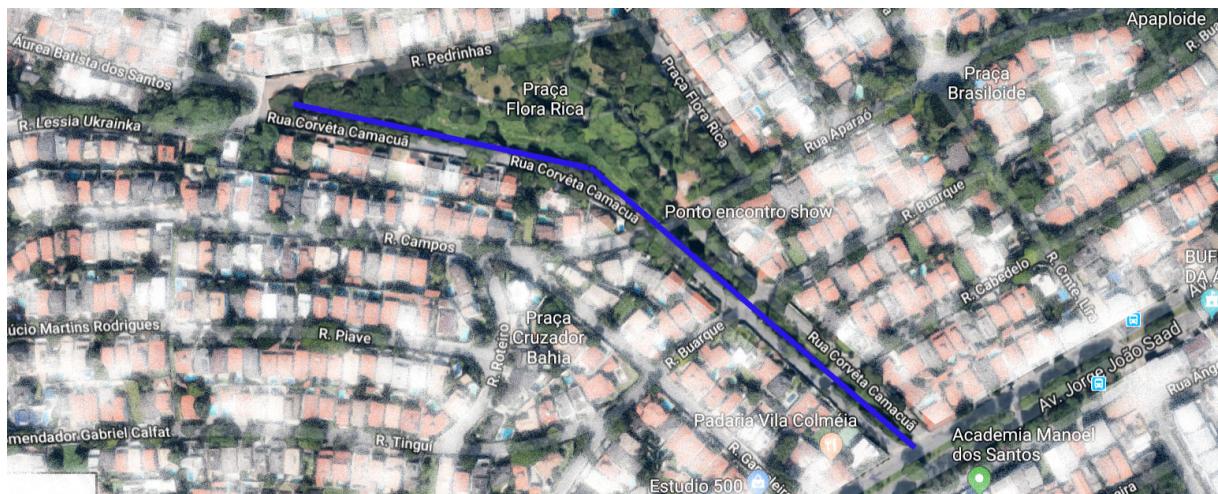


Figura 1. Área de estudo (Fonte: Google Maps)

A região é caracterizada pela presença de importantes áreas de risco geológico-geotécnico, especialmente áreas de solapamento de margens de córregos e inundações, com possibilidade de agravamento da situação dado o efeito das mudanças climáticas no padrão de precipitações, com chuvas mais curtas e intensas.

O Plano Diretor Municipal Estratégico de São Paulo prevê a implantação de um parque linear na região, o Parque Corveta Camacuã, indicado pela sigla PQ_BT_19 (BT_19 na imagem 2), no endereço rua Corgie Assad Abdalla, constando

na prefeitura como “em implantação”. Esse parque, que acompanha o córrego homônimo (que fora contemplado pelo Programa Córrego Limpo), tem sua área livre de assentamentos irregulares e não é afetado por outros projetos de infraestrutura, mas apresenta importantes problemas de solapagem e erosão das margens (como se pôde observar em visitas de campo para reconhecimento).

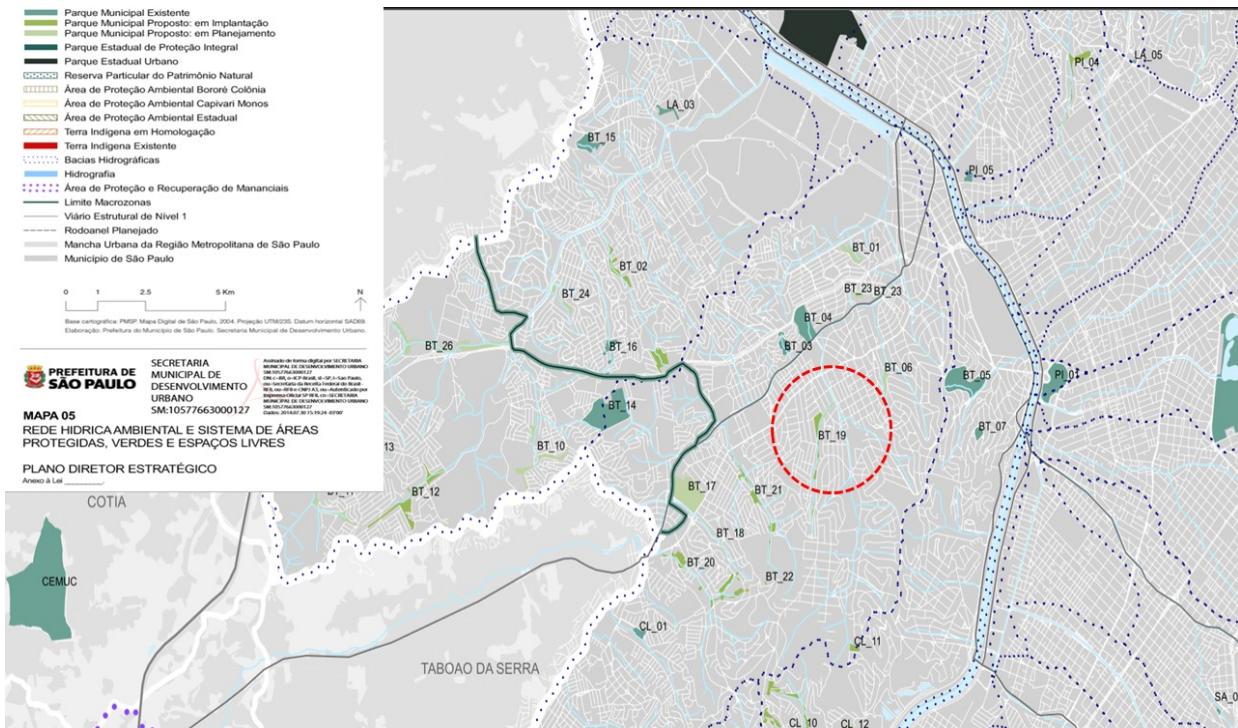


Figura 2. Região de implantação do Parque Linear Corveta Camacuã (Fonte: Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, Mapa 5 - Rede Hídrica Ambiental e Sistema de Áreas Protegidas, Verdes e Espaços Livres)

2.1.2 DADOS GERAIS

- *População*

Segundo dados do censo do IBGE (2010), a população residente na região do córrego Corveta Camacuã era de 108.441 habitantes, resultando em uma densidade de 10,954 habitantes por km².

Nas últimas décadas, o bairro tem presenciado importante crescimento imobiliário, principalmente próximo à divisa com o distrito do Morumbi, com empreendimentos para classes média e média-alta, e em algumas áreas mais populares como o Jardim Jaqueline e Jardim Colombo, que compõem a porcentagem de 27% de favelas e construções irregulares.

- *Climatologia e pluviometria*

De acordo com Marcuzzo (2017), em seu Mapa da Precipitação Pluviométrica Média Anual do Município de São Paulo, a região da Vila Sônia tem precipitação média anual entre 1363 e 1464 mm.

O clima é classificado como tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, as temperaturas variam entre 12°C no mês mais frio e 28°C no mês mais quente. A temperatura média anual é de 19.3°C.

Além disso, a área em estudo é considerada de alta vulnerabilidade, ou seja, é uma área que pode ter suas características agravadas negativamente a partir de mudanças climáticas e de precipitação.

- *Topografia, geologia e geomorfologia*

Segundo o sistema de dados da prefeitura de São Paulo, a sub-bacia do Pirajussara possui feição do tipo planície aluvial. Um estudo realizado em 2016 pela Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente indica que, nessa área, há a presença de importantes áreas de risco geológico-geotécnico, destacando a área de inundação e solapamento das margens dos córregos e escorregamento de encostas.

É importante ressaltar que por causa da presença de assentamentos precários, a subprefeitura Butantã responde por 87% dos moradores em situação de risco de toda a região oeste da cidade, com maior concentração nos distritos Vila Sônia e Rio Pequeno.

- *Vegetação e solo*

Segundo o relatório do Plano Municipal da Mata Atlântica da prefeitura de São Paulo, a região é composta por Mata Ombrófila Densa (MOD) e Bosque Heterogêneo (BOH).

A Mata Ombrófila Densa é perenifólia, ou seja, tem folhas pelo ano inteiro. Importante destacar que nessa floresta não ocorre período de seca, com precipitação alta e bem distribuída durante o ano. O Bosque Heterogêneo, por sua vez, caracteriza-se por ser formado por espécies exóticas.

Em relação ao solo da região, este é classificado como argissolo, o qual é um tipo de solo mineral com aumento do teor de argila em profundidade.

- *Saneamento básico*

De acordo com os indicadores da prefeitura, os índices relacionados a moradia e saneamento básico tem melhorado exponencialmente. Em 2009, o índice de coleta seletiva correspondia 0,7 e em 2013 a 2,17. Esse índice expõe a proporção dos resíduos coletados seletivamente nos domicílios da cidade de São Paulo para reciclagem dentre o total coletado. Valores apurados pela massa total, em toneladas. Em relação à rede coletora de esgoto, o distrito Vila Sônia tem 89% da sua rede coberta e regulada.

- *Densidade viária*

A região possui importantes eixos viários, tais como a Rodovia Raposo Tavares, Avenida Escola Politécnica, Avenida Eliseu de Almeida, avenida Prof. Francisco Morato, Avenida Vital Brasil, Corifeu de Azevedo Marques, além da Marginal Pinheiros e do Rodoanel Governador Mário Covas, localizado no limite com os municípios de Osasco e Taboão da Serra. No entanto, em decorrência do abrupto adensamento da região, a estrutura urbana é desordenada, com malha viária local limitada e dependente dos eixos estruturais.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CÓRREGO

O córrego tem seu trecho inicial entre as ruas Santo Américo e Torquato Amore, estando canalizado e tamponado, sob um núcleo de construções irregulares. A seguir, segue a céu aberto, margeando fundos de lotes da rua Torquato Amore e Áurea Batista dos Santos, trecho onde a maioria das áreas “non aedificandi” estão ocupadas. No trecho seguinte, o córrego passa a compor a paisagem, pela rua Léssia Ukrainka e Praça Flora Rica,

associados a áreas verdes. Em 2014, essa praça passou por obras de revitalização promovidas pela Subprefeitura do Butantã, quando houve a construção de muros de gabião em pequenos trechos de margens onde ocorriam solapamentos. No trecho final, o córrego está a céu aberto com margens solapadas e erodidas. A Figura 3 mostra com detalhes destacados o córrego Corveta Camacuã. Enquanto que as Figuras 4, 5 e 6 são fotografias que contextualizam a situação atual do córrego.



Figura 3. Detalhamento da região do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)



Figura 4. Imagem do córrego em trecho instável com muro de gabião. (Fonte: Autoria própria)



Figura 5. Imagem do córrego em trecho sem intervenção do muro de gabião. (Fonte: Autoria própria)



Figura 6. Imagem do córrego em trecho com muro de gabião. (Fonte: Autoria própria)

Sua área livre apresenta potencial de implantação de reservatórios de contenção de águas, cumprindo a função de armazenar volumes potencialmente problemáticos a jusante.

2.2.1 CARACTERIZAÇÃO TRECHO A TRECHO

Para melhor caracterização, o córrego foi separado em trechos, dos quais foram feitos fotografias e coleta de informações por meio de um formulário de análise e coleta de dados. As fotografias visam passar uma imagem mais real do cenário encontrado e apontar eventuais deficiências do córrego Corveta Camacuã.

A. Trecho 1

f

Caracterização por segmento - Córrego Corveta Camacuã	
Identificação do trecho	1
Largura	2,12 m
Altura da seção	3,85 m
Comprimento	57,34 m
Profundidade	0,2 m
Largura Total (c/ margens)	13,2 m
Nível de resíduos	Alto
Instabilização das margens	Média
Empresa responsável	Nenhuma
Nível social ao redor	Alto
Qualidade geral do trecho	Média
Referência de localização	Entre a avenida Jorge João Saad e a rua Cabeala
Observações	Trecho de foz do córrego com o córrego Antonico. Apresenta margens em condições precárias e lixo acumulado no leito (gabião). Com sistemas de coleta de água pluvial em condição degradante

Figura 7. Formulário preenchido para o trecho 1 (Fonte: Autoria própria)



Figura 8. Foto do córrego no trecho 1 (Fonte: Autoria própria)



Figura 9. Foto do córrego no trecho 1 (Fonte: Autoria própria)



Figura 10. Foto do córrego no trecho 1 (Fonte: Autoria própria)

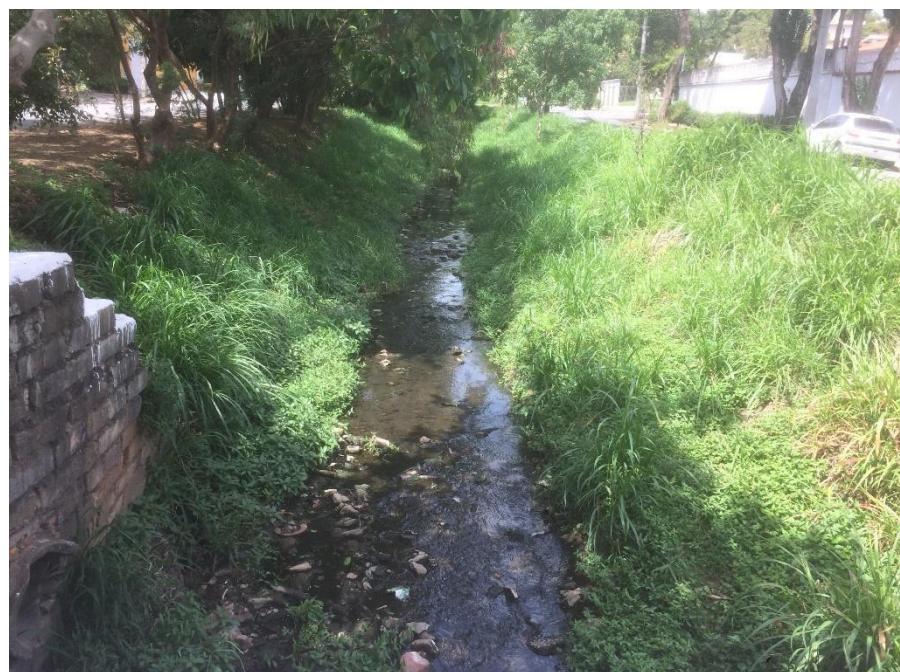


Figura 11. Foto do córrego no trecho 1 (Fonte: Autoria própria)



Figura 12. Foto do córrego no trecho 1 (Fonte: Autoria própria)



Figura 13. Foto do córrego no trecho 1 (Fonte: Autoria própria)

B. Trecho 2

Caracterização por segmento - Córrego Corveta Camacuã	
Identificação do trecho	2
Largura	3,07 m
Altura da seção	3,68 m
Comprimento	60,16 m
Profundidade	0,25 m
Largura Total (c/ margens)	14,9 m
Nível de resíduos	Alto
Instabilização das margens	Intensa
Empresa responsável	Nenhuma
Nível social ao redor	Alto
Qualidade geral do trecho	Ruim
Referência de localização	Entre as ruas Cabeala e Buarque
Observações	Trecho muito similar ao primeiro trecho analisado, porém as águas são mais turvas. As margens apresentam alto grau de instabilidade

Figura 14. Formulário preenchido para o trecho 2 (Fonte: Autoria própria)



Figura 15. Foto do córrego no trecho 2 (Fonte: Autoria própria)



Figura 16. Foto do córrego no trecho 2 (Fonte: Autoria própria)



Figura 17. Foto do córrego no trecho 2 (Fonte: Autoria própria)



Figura 18. Foto do córrego no trecho 2 (Fonte: Autoria própria)



Figura 19. Foto do córrego no trecho 2 (Fonte: Autoria própria)

C. Trecho 3

Caracterização por segmento - Córrego Corveta Camacuã	
Identificação do trecho	3
Largura	3,33 m
Altura da seção	3,86 m
Comprimento	58,28 m
Profundidade	0,15 m
Largura Total (c/ margens)	14,86 m
Nível de resíduos	Médio
Instabilização das margens	Intensa
Empresa responsável	Espaço de Arte - Cesar Puraca
Nível social ao redor	Alto/Médio
Qualidade geral do trecho	Média
Referência de localização	Entre as ruas Buarque e Campos
Observações	Trecho apresenta leve melhorias mas ainda possui muita instabilidade nas margens e lixo preso no leito do córrego

Figura 20. Planilha preenchida para o trecho 3 (Fonte: Autoria própria)



Figura 21. Foto do córrego no trecho 3 (Fonte: Autoria própria)



Figura 22. Foto do córrego no trecho 3 (Fonte: Autoria própria)



Figura 23. Foto do córrego no trecho 3 (Fonte: Autoria própria)

D. Trecho 4

Caracterização por segmento - Córrego Corveta Camacuã	
Identificação do trecho	4
Largura	3,36 m
Altura da seção	3,55 m
Comprimento	275,42 m
Profundidade	0,25 m
Largura Total (c/ margens)	14,95 m
Nível de resíduos	Médio
Instabilização das margens	Média*
Empresa responsável	Nenhuma
Nível social ao redor	Alto
Qualidade geral do trecho	Média
Referência de localização	Entre as ruas Campos e Pedrinhas
Observações	Trecho apresenta um parque/praca com área verde bem cuidada. Margens iniciais com obra de contenção bem feita mas outros trechos com margens extremamente degradadas, afetando até mesmo a rua

Figura 24. Formulário preenchido para o trecho 4 (Fonte: Autoria própria)



Figura 25. Foto do córrego no trecho 4 (Fonte: Autoria própria)



Figura 26. Foto do córrego no trecho 4 (Fonte: Autoria própria)



Figura 27. Foto do córrego no trecho 4 (Fonte: Autoria própria)



Figura 28. Foto do córrego no trecho 4 (Fonte: Autoria própria)



Figura 29. Foto do córrego no trecho 4 (Fonte: Autoria própria)



Figura 30. Foto do córrego no trecho 4 (Fonte: Autoria própria)

2.2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DE CADA TRECHO

A fim de apresentar uma visão mais didática da divisão do porção do córrego escolhida pelo grupo, fez-se uma contextualização de cada trecho. Desta forma, para cada um dos quatro trechos foram identificadas algumas imagens a fim de que se possa ter uma percepção melhor da realidade de cada um dos trechos separados.

A. *Divisão geral*



Figura 31. Representação dos trechos (Fonte: Autoria própria)

B. Trecho 1



Figura 32. Contextualização do trecho 1 (Fonte: Autoria própria)

C. Trecho 2



Figura 33. Contextualização do trecho 2 (Fonte: Autoria própria)

D. Trecho 3



Figura 34. Contextualização do trecho 3 (Fonte: Autoria própria)

E. Trecho 4



Figura 35. Contextualização do trecho 4 (Fonte: Autoria própria)

2.3 ESTUDOS PRÉVIOS NO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ

O Corveta apresenta margens irregulares ao longo do percurso estudado, sendo alguns pontos mais inclinados, menos vegetados, mais profundos em relação ao nível da rua. Ao longo do tempo, vento e chuvas desestabilizaram árvores e rochas, deslizamentos de terra chegaram ao

pavimento. Fez-se necessário intervenções emergenciais, o poder público optou por instalação de gabiões e cimentação de leito em determinados pontos, como o verificado nas figuras 35 e 36.



Figura 36. Muro de Gabião (Fonte: Autoria própria)



Figura 37. Cimentado (Fonte: Autoria própria)

Em 2014, para conter processos erosivos nas margens do córrego Corveta Camacuã, a prefeitura fez intervenção executando um muro de gabião em pontos de erosão acentuada, presente na imagem 37, como parte do plano de reforma da Praça Flora Rica (Prefeitura Regional da Butantã).



Figura 38. Foto das intervenções feitas em 2014 nas margens do córrego (Fonte: Prefeitura Regional do Butantã)

2.3.1 PROGRAMA MUNICIAPAIS PARA RECURSOS HÍDRICOS

O artigo 106 do Plano Diretor Estratégico do município de São Paulo (PDESP), 2014, enuncia o Programa de Recuperação Ambiental de Cursos D'Água e Fundos de Vale, que tem por objetivo ampliar as áreas verdes, ampliar os parques lineares, recuperar as áreas degradadas, reassentar a população da mesma sub-bacia, promover ações de saneamento ambiental e promover vias de circulação de pedestres e ciclovias. Esse programa considera a Rede Hídrica Estrutural como elemento estruturador do processo de urbanização.

A implementação de programas como este, são complexas, uma vez que exigem a integração de políticas públicas relacionadas à urbanização de fundos de vale (Jacobi e Silva-Sánchez, 2012).

Além disso, o desenvolvimento da cidade desconsidera elementos ambientais importantes, o que foi mais um entrave para o programa não ser totalmente efetivado. Na prática, foram implantados parques lineares e caminhos verdes para recuperação ambiental de apenas alguns fundos de vales.

O Programa Córrego Limpo, lançado em março de 2006, é uma parceria da Prefeitura do Município de São Paulo e a empresa de saneamento Sabesp, que objetivou a melhoria da qualidade dos corpos hídricos (Prefeitura de São Paulo, 2012).

A Sabesp ficou responsável por executar as obras de prolongamento de redes, coletores e interceptores. E a Prefeitura do Município de São Paulo, por sua vez, responsável por remover e reassentar as famílias que vivem em áreas de riscos, implantar parque lineares e fiscalizar as ligações de esgoto.

O programa foi dividido em três fases, estimando 150 córregos despoluídos e 2.340.000 pessoas beneficiadas ao final delas. Porém, devido problemas de continuidade da prefeitura, o programa foi interrompido em 2012, atingindo um resultado de 149 córregos despoluídos.

Em abril de 2017 o programa foi retomado com a inclusão de uma cláusula de obrigatoriedade de adesão, que impede que novas interrupções aconteçam.

Como os mananciais ficaram cerca de 5 anos com pouca ou nenhuma manutenção, muitos córregos voltaram a condição de poluição anterior. Desse modo, a volta do programa tem a meta de recuperar 69 dos 149 córregos que foram despoluídos e posteriormente atingir novos córregos.

2.3.2 PARQUE LINEAR

Infraestrutura verde, segundo Herzog (2010), consiste em redes multifuncionais de fragmentos permeáveis e vegetados, preferencialmente arborizados, conseguindo reestruturar o mosaico da paisagem, com grande potencial de mitigação dos efeitos de uma urbanização desordenada, voltada ao uso de automóveis, super impermeabilizada. Fornece resiliência aos ecossistemas urbanos para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e auxilia na economia de baixo carbono. Tipologias multifuncionais dessas infraestruturas são desenvolvidas, aliando o verde-azul (vegetação a sistemas hídricos), restabelecendo e mantendo dinâmicas naturais de fluxos hídricos e

bióticos, consequentemente melhorando a circulação o conforto das pessoas. Os parques lineares são, dentre tantas, um bom exemplo dessas tipologias.

Os Parques Lineares são intervenções urbanísticas associadas à rede hídrica de fundos de vale, mais especificamente na planície aluvial. Têm como características: proteger ou recuperar os ecossistemas lindeiros aos cursos aos corpos d'água, conectar áreas verdes e espaços livres, controlar enchentes e prover áreas verdes para o lazer (Guimarães, 2011).

Esses espaços são uma ferramenta para minimização de impactos e recuperação de áreas degradadas. Isso decorre pelo fato dos parques lineares possuírem grande potencial para proteção das áreas nos vales dos rios urbanos, da capacidade de melhoria da qualidade das águas e do potencial de reduzir as emissões de poluentes. A figura 6 mostra um parque linear integrado à paisagem urbana em Seoul, na Coréia.

Além disso, os parques lineares são elementos estratégicos para gestão de recursos hídricos urbanos, dado que podem amortecer os impactos das enchentes, fortalecendo os leitos fluviais.



Figura 39. Parque Tiquatira, na zona leste de São Paulo (Fonte: Bonitobirdwatching)

Sob o ponto de vista socioeconômico, os parques lineares cumprem a função de promoção do uso mais diversificado do solo, oferecendo um espaço

para lazer e amenizando disparidades sociais através da inclusão de vários níveis da população.

3. BIOENGENHARIA DE SOLOS

A desestabilização do solo tem início com a remoção da cobertura vegetal (que servia de proteção), expondo a camada superficial a agentes naturais, como o vento e água, que tem seus componentes (partículas, grãos, rochas) arrastados. Seguidamente, a mudança do uso do solo por atividades diversas, como instalação de empreendimentos, indústria, agropecuária e ocupação urbana, acelera a tendência a processos de erosão.

A água é o principal agente erosivo. As margens dos cursos d'água estão sempre sujeitas ao arraste de solo erodido, seja pela própria corredeira local, seja pelo processo de drenagem da região (bacia hidrográfica) durante a chuva e outros lançamentos hídricos que possam ocorrer. Qualquer tentativa de conter, retirar o aporte, redefinir o curso d'água tem influência direta nas margens e encostas. O assoreamento de corpos hídricos - afetando o abastecimento e geração de energia, alterações da hidrografia da bacia, interferência em ecossistemas e habitats aquáticos, falta de estabilidade para ocupação e construções estão dentre os graves problemas provindos da erosão.

De acordo com Solera et al. (2014), a bioengenharia de solos é uma técnica que vem sendo utilizada na recuperação de áreas degradadas em ambientes urbanos. Contextualizada no subdomínio da engenharia civil, com mesmos objetivos e fundamentações técnicas, em conjunto a percepção ecológica, ao utilizar materiais vivos, é bastante utilizada para estabilizar margens de cursos d'água e taludes. A combinação de materiais naturais a inertes forma sistemas vivos, conjugando funcionalidade estrutural e ecológica, o que permite sua aplicação a diferentes contextos de degradação, sendo uma estratégia ecológica, econômica e de longo prazo (Solera, 2018). A bioengenharia de solos se enquadra na perspectiva de infraestrutura verde, sendo inegável seu fortalecimento como uma opção à tradicional infraestrutura

cinza, caracterizada pelas técnicas convencionais de engenharia que potencializam o problema de impermeabilização das áreas urbanas e do seu custo oneroso, bem como na recuperação de margens de rios que não valorizam a perspectiva ecológica.

“A vegetação vem sendo utilizada na engenharia, há séculos, no controle de processos erosivos e como proteção e reforço em obras civis. As técnicas que conjugam a utilização desse elemento vivo na engenharia são denominadas bioengenharia de solos”.[...] “Uma engenharia biologicamente orientada que não só leva em conta questões técnicas, mas também relações biológicas e leis, e também usa peças e plantas de plantas como materiais de construção vivos” (KRUEDENER,1951).

3.1 HISTÓRIA

Historicamente, os primeiros relatos de seus usos vêm dos povos da Ásia e Europa. Lewis (2000, pg 2) cita Kevin Finney em sua obra, retomando o caminho da bioengenharia até os dias de hoje.

Os primeiros visitantes ocidentais da China falaram sobre margens de rios e diques estabilizados com grandes cestos de tecidos de salgueiro, cânhamo ou bambu, e cheio de pedras. Na Europa, aldeões celtas e ilírios desenvolveram Técnicas de tecelagem de ramos de salgueiro para criar cercas e paredes. Mais tarde, os romanos usavam fascines, fardos de bastões de salgueiro, para hidroconstrução.

Mais adiante, desde a revolução industrial, diversos documentos sobre utilização da bioengenharia em áreas montanhosas da Áustria e sul da Alemanha foram escritos ao se tratarem avalanches, deslizamentos e grandes erosões. Por volta de 1930, as restrições destes países no pré-guerra culminaram com políticas de estudo e desenvolvimento de obras de baixo custo, material local e métodos baseados nas tradições. Em 1936, Hitler desenvolveu um instituto em Munique para estudar bioengenharia de solos para construção de rodovias. O líder desse instituto, Arthur von Kruegner, é hoje conhecido como o pai da bioengenharia.

Diversos estudos e projetos continuaram a ser documentados e novas tecnologias padronizadas. Nos anos 70 e 80, dois importantes projetos nos Estados Unidos foram implementados para se testarem e produzirem informações de aplicabilidade, o do lago Tahoe Basin e o trabalho de revegetação no Redwood National Park. Em 1997, Hugo Schiechtl publicou o livro *Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control*, e seus escritos são dos mais importantes trabalhos sobre o tema até hoje (Lewis, 2000).

3.2 CONCEITOS BÁSICOS

“Ao conhecer o clima e a vegetação de uma área, é possível prever a natureza dos solos. Há, entretanto, muitas exceções resultantes de diferenças nos materiais parentes, drenagem, declive e o tempo em que o solo foi exposto a estes condições ambientais” (Lewis, 2000, pg 5)

Ainda segundo Lewis, o desenho de um projeto de bioengenharia vai além do reconhecimento e medição da área, devendo-se considerar a história natural e evolução dos processos geológicos e geográficos, bem como usos sociais e culturais da paisagem ao redor. Cenários como suscetibilidade a incêndios, tempestades, alagamentos, remoção de vegetação e revegetação, tendências de erosão natural e antrópica revelam potencialidades do meio estudado de se regenerar naturalmente, e o objetivo primordial desta técnica é usar desse recurso, imitando-o e o acelerando. São critérios a serem considerados (Lewis, 2000)

- Condições Climáticas - precipitação e temperatura
- Topografia - inclinação, elevação, exposição ao sol
- Solos - permeabilidade da raiz, nutrientes, umidade
- Água- canais naturais, área drenada, várzea
- Vegetação - tipos de plantas, adaptabilidade ao local
- Erosão - tendências de melhora ou piora, transporte de massa

Coelho (2006) pontua o uso da vegetação para processos de regeneração do solo erodido como de baixo custo, requerimento técnico relativamente simples para instalação e manutenção, compatível com grande aplicação em zonas tropicais e subtropicais, dadas as condições favoráveis de crescimento da vegetação.

Deve-se ter o cuidado, entretanto, sobre a utilização inadequada das técnicas que a utilizam. Coelho cita Stocking (1996), que relacionou duas situações em que o abafamento da vegetação herbácea devido ao plantio de espécies arbóreas de crescimento rápido resultou em intensificação dos processos erosivos ao invés de contenção do fenômeno, sendo uma no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, com o uso de uma espécie de Eucalipto, e outra em Mondoro, no Zimbabwe, onde se plantaram árvores para o controle de ravinamentos. Esse uso, portanto, deve ser criterioso, pois pode interferir nos valores de umidade do solo (GREENWAY, 1987), alterando parâmetros como coesão e fricção. Lewis (2000, pg 1) ressalta que: A bioengenharia do solo é uma excelente ferramenta para estabilizar áreas de instabilidade do solo. Esses métodos não deveriam, no entanto, serem vistos como única solução para a maioria dos problemas de erosão. A bioengenharia de solo tem requisitos exclusivos e não é apropriada para todos os sites e situações.

Dependendo da área, um sistema simples, de baixo custo, envolvendo grama ou mesmo palha sem erva como camada protetora pode resolver o problema, ou talvez seja necessária uma união dessas opções a um sistema geotécnico de engenharia mais elaborado. O monitoramento periódico fará parte da manutenção do projeto, já que em situações mais complexas, o crescimento da vegetação deve ter algum suporte, e, mesmo após seu estabelecimento, esta é vulnerável a condições do meio, como nutrientes existentes no solo, luz solar, pisoteamento (LEWIS, 2000).

Ainda segundo Lewis (2000), pode-se destacar uma série de benefícios que a bioengenharia de solos pode apresentar: projetos atrelados a essa técnica geralmente envolvem o uso de equipamentos mais leves, diminuindo custos e impactos, facilitando acesso a áreas mais sensíveis a movimentação de equipamentos pesados. Esta serve, também, como uma abordagem

preventiva sobre o avanço de processos erosivos, já que tratá-los no começo de forma menos custosa pode economizar recursos no futuro, como gastos com o agravamento da situação a ser remediada. O uso de espécies vegetais nativas facilita a obtenção desse recurso, bem como o desenvolvimento do projeto, já que elas são adaptadas às condições proporcionadas pelo meio. O monitoramento ao longo dos anos em projetos já executados mostrou que a estabilização através desta técnica começa com bons resultados e continua a se fortalecer, já que a vegetação vai se estabelecendo cada vez mais, absorvendo parte da umidade do solo, e, mesmo com a morte de alguns exemplares, a manta orgânica favorece o surgimento de novos, auxiliando em sua fixação.

3.3 VEGETAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO

Pereira (1999) ressalta a importância das plantas para a estabilidade do solo, consciente de esta influência ser positiva ou negativa, de acordo com a espécie plantada. As raízes aumentam a coesão do solo por agregarem partículas, contribuindo para a resistência, funcionando como canais de sucção, mas podem danificar estruturas cimentadas e raízes secas podem concentrar fluxo de água pluvial. Caules e folhas reduzem a erosão laminar e aumentam a rugosidade, mas árvores podem contribuir negativamente com seu peso, e a atuação do vento pode auxiliar efeito desfavorável.

A figura 39 compara o efeito da vegetação em um talude coberto e em um onde ela foi suprimida, mostrando a relação entre o fator de segurança e o ângulo de inclinação. Para uma inclinação de 45º, há grande melhoria da estabilidade, que pode ser medida pelo fator de segurança: 1,3 para o talude sem cobertura vegetal e 2,8 para o talude coberto.

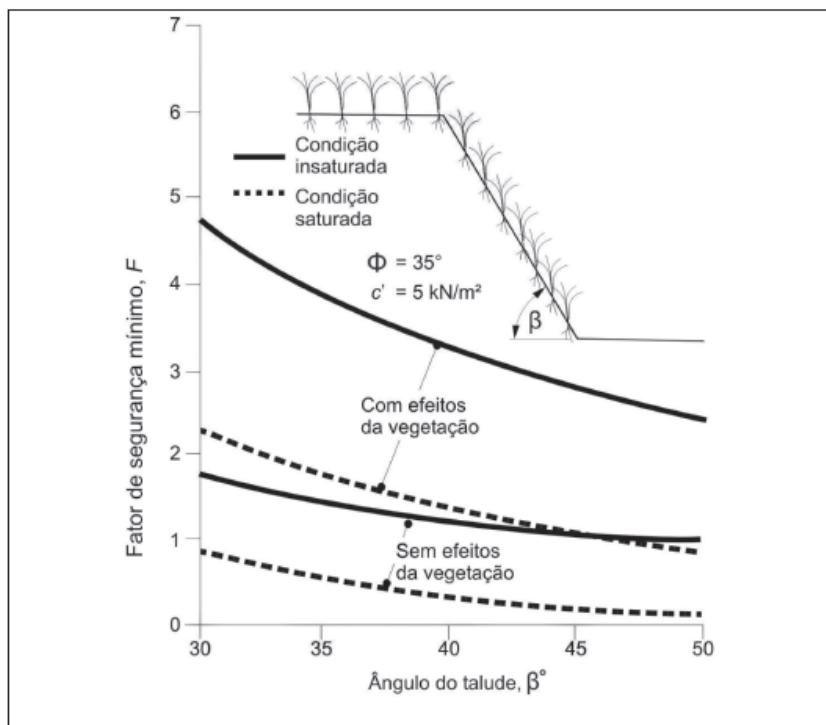


Figura 40. O efeito da vegetação em um talude coberto e em um onde ela foi suprimida (Fonte: Coelho, 2006)

Esse efeito ocorre pelo fato de as raízes estabilizarem partículas do solo pelo aumento da resistência ao cisalhamento (destaque para as radicelas, pela relação entre superfície e volume radicular), por haver transferência direta das tensões para as raízes, e pela estabilização de movimentos de massa (especialmente raízes pivotantes), atuando como “tirantes vivos”, ancorando massas de solo.

Fatores de influência são:

- valor de resistência a tensão de raízes
- características da interface raiz solo
- arquitetura radicular
- espaçamento e massa de solo ocupado pelas raízes
- declividade e espessura do solo
- parâmetros geotécnicos de cisalhamento do solo

Sortir e Gray (1997) afirmam que grandes concentrações de fibras radiculares de pequeno diâmetro aumentam a resistência de forma proporcional ao aumento de profundidade por elas explorada. Eles demonstram um aumento de resistência ao cisalhamento por unidade de concentração de fibra radicular de 7,4 a 8,7 psi/lb de raízes/ cf. A maior eficiência ocorre quando as raízes alcançam fraturas ou fissuras da rocha matriz, penetram ao longo de solos residuais, ou zonas de transição, onde a densidade é maior com a profundidade do solo, pois, assim, há transferência de forças, através das raízes, das zonas de menor resistência para as de maior (GREENWAY, 1987). A figura 40 explica essa situação.

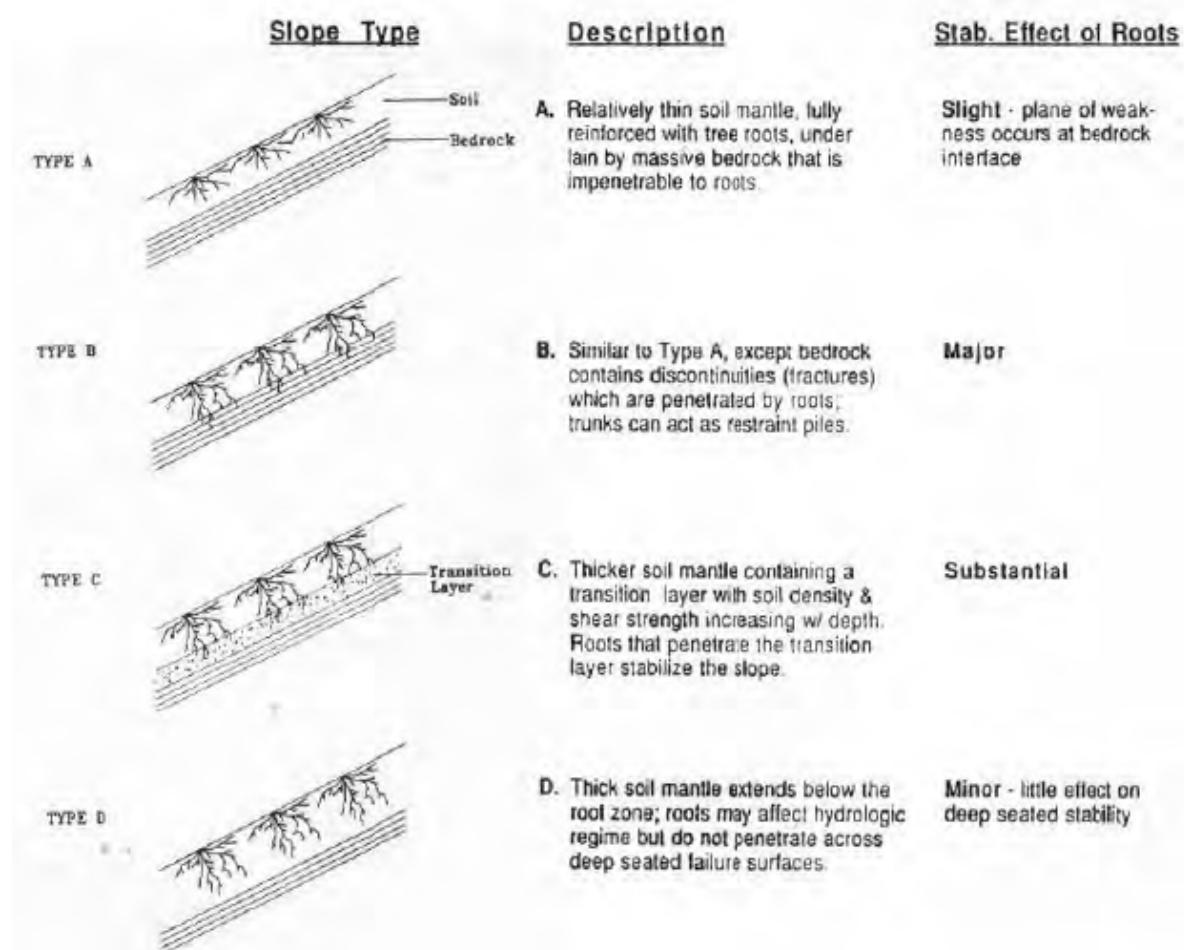


Figura 41. Relação entre estratigrafia e sistemas de raízes (Fonte: Gray e Sotir, 1996, pág. 66)

Coelho (2006) cita Hengchaovanich (1998), que apresenta as vantagens do capim vetiver para estabilização do solo, com resistência a tração de 75 MPa e aumento na resistência ao cisalhamento entre 6 e 10 KPa por quilo de raiz por m³ de solo, em comparação com valores entre 3,2 a 3,7 KPa por m³ de solo de raízes de árvores. Isso devido ao fato de seu sistema radicular atingir até 4 metros de profundidade e apresentar resistência de 1/6 do aço doce.

3.3.1 CAPIM VETIVER

Barbosa e Lima (2013), em seu estudo sobre a resistência ao cisalhamento dos solos e taludes vegetados com capim Vetiver, determinaram os parâmetros de resistência, o intercepto de coesão e o ângulo de atrito internos de amostras de um solo sem vegetação e com vegetação plantada a um dois, três e quatro anos, a fim de investigar a eficiência dessa planta na estabilização de taludes. Em sua pesquisa, estão informações como a necessidade de se considerar a interação solo-raiz, observando-se que há aumento na resistência contra escorregamentos nas encostas ao se terem raízes, elementos flexíveis e elásticos, enterrados no solo.

O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) tem revelado-se muito eficaz na estabilização de taludes. É uma planta aromática da família *Poaceae* que chega a atingir 2 m de altura e suas raízes podem penetrar até 3 m de profundidade. É vastamente cultivado na Indonésia, Índias Ocidentais, África e Polinésia. (Barbosa e Lima, 2013)

Os autores também destacam a capacidade dessa espécie vegetal de crescer verticalmente em grandes declives, apresentando rápido desenvolvimento, destacando-o como a espécie mais indicada para estabilização de encostas, além do poder de penetração das raízes (inclusive em superfícies rochosas).

Em um ensaio de cisalhamento direto em uma amostra indeformada de solo, Hengchaovanich & Nilaweera (1996) constataram que a resistência ao cisalhamento do solo cultivado com capim vetiver com dois anos de plantio aumentou em 90 %, em relação ao solo sem cultivo (Barbosa e Lima, 2013).

Barbosa cita Gray (1996) ao afirmar que as fibras radiculares aumentam a resistência ao cisalhamento do solo pela transferência das tensões cisalhantes que se desenvolvem na matriz do solo para as fibras, por meio do atrito na interface ao longo da extensão das que estão fixas. Quando o cisalhamento ocorre, a fibra é deformada, o que causa um alongamento dela, e este mobiliza a resistência da fibra (Gray & Sotir, 1996).

A Figura 40 evidencia o aumento de teor de matéria orgânica nas amostras de solo ao longo do tempo, sendo o maior valor referente a 7 anos de plantio do capim, ou seja, aumento da quantidade de raízes.

Quadro 3. Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo nas variações estudadas e do talude de solo sem e com plantio do capim vetiver

Solo/Talude	Ângulo de atrito	Intercepto de coesão interno	kPa
Sem vegetação	14,6 ⁰	23,4	
Um ano de plantio de capim vetiver	14,6 ⁰	23,8	
Dois anos de plantio de capim vetiver	14,8 ⁰	25,9	
Três anos de plantio de capim vetiver	16,9 ⁰	68,9	
Quatro anos de plantio de capim vetiver	19,9 ⁰	73,5	
Talude de solo			
Sem plantio do capim vetiver	18,5 ⁰	28,4	
Com plantio do capim vetiver	18,9 ⁰	74,5	

Figura 42. Teor de matéria orgânica (MO) das amostras de solo (Fonte: Barbosa e Lima, 2013)

A Figura 41 mostra o resultado dos ensaios de cisalhamento direto. Pode-se perceber uma variação pequena do ângulo de atrito, mas um aumento de aproximadamente 167% no parâmetro de coesão no solo entre dois e três anos de plantio do vetiver.

Quadro 2. Teor de matéria orgânica (MO) das amostras de solo

Solo	MO
	%
	0-60 cm
Sem vegetação	10,1
Um ano de plantio de capim vetiver	15,9
Dois anos de plantio de capim vetiver	17,5
Três anos de plantio de capim vetiver	21,9
Quatro anos de plantio de capim vetiver	22,2
	30-90 cm
Talude de solo sem vegetação	9,1
Talude com aplicação de capim vetiver	23,4

Figura 43. Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solo com e sem vetiver (Fonte: Barbosa e Lima, 2013).

A principal contribuição das raízes ao solo, no que diz respeito à resistência ao cisalhamento, é o incremento de uma coesão aparente ao solo. Essa coesão aparente auxilia na estabilidade com relação a rupturas rasas em solos arenosos com pouca ou sem nenhuma coesão intrínseca (Lemes, 2001). Sendo assim, as raízes do capim vetiver oferecem uma parcela de coesão aparente ao solo, o que auxilia no processo de estabilidade do solo (Barbosa e Lima, 2013).

3.3.2 DIVERSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS

Alho (2014) destaca a importância da exuberância da biodiversidade brasileira ao afirmar que é reconhecida como uma das mais expressivas da biosfera terrestre e tem um papel importante no bem-estar e na saúde do homem, ao prover produtos básicos e serviços ecossistêmicos.

Leguminosas, plantas capazes de fixar nitrogênio no solo e que possuem raízes boas para estabilização, tem papel importante na revegetação

de áreas degradadas principalmente na consorciação com gramíneas, favorecendo o desenvolvimento de vegetação pelo fornecimento de nutrientes (PEREIRA, 2006).

Marques et al (2014) estudaram o crescimento de espécies nativas e do vetiver para revegetação em voçorocas no distrito de Ouro Preto. Dentre as espécies utilizadas, *Echinolaena inflexa* (figura 42) tem alta produção de biomassa e *Cratylia argentea* (figura 43) é uma leguminosa originária da América do Sul, portadora de um vigoroso desenvolvimento radicular. Os autores recomendam que as espécies nativas podem ser usadas para revegetações sem nenhum trato cultural.



Figura 44. *Echinolaena inflexa* (Fonte: Frutos ativos do cerrado)



Figura 45. *Cratylia argentea* (Fonte: Uniprot)

Mathias (2011), ao estudar o córrego Tucunzinho, em São Pedro, SP, cruza indicações de vegetações interessantes a serem utilizadas na recuperação da área, ressaltando que técnicas de bioengenharia de solos ficam mais eficientes ao contarem com o consórcio entre gramíneas e leguminosas. A leguminosa Mucuna (Mucuna aferrima – Figura 44 - e Mucuna Stizolobium) foi utilizada no projeto.



Figura 46. Mucunaaferrima (Fonte: Arbocenter)

Martins (2012), ao avaliar o desempenho das tipologias paisagísticas de drenagem natural da Praça das Dolores Ibarruri, em São Paulo, constatou a resistência da espécie *Wedelia papulosa* (figura 45), ao povoar as biovaletas que foram construídas para captação de água.



Figura 47. *Wedelia papulosa* (Fonte: Saudedr)

3.3.3 PROTEÇÃO DO SOLO

Sobre escoamento superficial, a rugosidade, a infiltração e interceptação proporcionadas pela vegetação reduz para 10% a 20% o volume da enxurrada de água proveniente da precipitação, sendo que há redução para 30% a 40% em áreas cultivadas e 60% a 70% em assentamentos urbanos (COELHO, 2006). A parte aérea da vegetação reduz a velocidade da enxurrada (segundo equação presente na figura 17), redução que pode ser mensurada por um parâmetro de rugosidade de Manning (n), variável segundo morfologia das plantas e seu desenvolvimento.

$$V = (R^{2/3} S^{1/2}) / n,$$

R = raio hidráulico,
 S = declividade da superfície de escoamento.
 n = constantes empíricas específicas para plantas

Figura 48. Parâmetros hidráulicos (Fonte: Coelho, 2006, pág 8)

O recobrimento do solo por vegetação e matéria orgânica o protegem da mobilização e carreamento de partículas devido a agentes erosivos, dissipando, por exemplo, forças trativas, como as verificadas nas bordas das de água, responsáveis pela mobilização em solos arenosos (NEARING, 1994). A figura 18 apresenta a redução da erosão no solo em razão do recobrimento vegetal presente.

Porcentagem de redução da erosão em razão de diferentes condições de recobrimento em condições temperadas

Tipo de recobrimento	Redução (%)
Controle (sem recobrimento)	0,0
Semeio de espécies herbáceas:	
centeio (perene)	95
centeio (anual)	90
capim Sudão	95
Pastagem nativa de ciclo anual (máximo)	97
Semeio de espécies herbáceas permanentes	99
Mulch	
Feno, índice de aplicação (ton / ha)	
2,0	75
4,0	87
6,0	93
8,0	98
Palha de grãos pequenos (diâmetro < 10 mm), 8,0 ton / ha	98
Serragem, 24 ton / ha	94
Celulose de madeira, 6,0 ton / ha	90
Fibra de vidro, 6,0 ton / ha	95

Fonte: Adaptado do USDA Soil Conservation Service, 1978.

Figura 49. Porcentagem de redução da erosão por recobrimento em regiões temperadas. (Fonte: Coelho, 2006, pág 10)

Wiersun (1985) afirma que a presença de recobrimento superficial da biomassa decaída e decomposta pode proporcionar a redução da ordem de 93% na perda de solo, quando comparado a superfícies desnudas localizadas abaixo de dosséis arbóreos, ilustrando a extrema importância da presença dessa biomassa em povoamentos florestais, especialmente em locais inclinados, onde a deposição da folhagem das árvores será dificultada pelo carreamento destas pela enxurrada. (Coelho, 2006, pág 10)

Alguns critérios podem ser adotados para definição da técnica de bioengenharia mais adequada ao córrego Corveta Camacuã. São eles:

- Tipo de terreno: margens de um pequeno córrego
- Condição do solo: inclinação, tipo de solo, processo de degradação
- Objetivo ambiental: efeito visual, uso recreacional, serviço ecossistêmico possível
- Custo: grau de complexidade da solução

- Tensão de arraste

3.3.4 BRUSHLAYERING – CAMADAS DE RAMOS

Brushlayering é uma técnica bastante adequada para os trechos de margem que possuem inclinações mais brandas, dada sua eficiência de manter a margem estável sem muita complexidade na execução. Camadas do solo recebem galhos vivos, de forma que estes sejam enterrados no solo, ficando apenas com a ponta para fora, retardando a velocidade do escoamento e filtrando sedimentos (Martins, 2012).

Os galhos, em pouco tempo, criam raízes, servindo de drenos horizontais, a vegetação aérea se desenvolve, formando cordões de proteção das margens, como ilustra a figura 48. Esse uso permite a estabilização contra carregamentos e erosões superficiais e movimentos maiores de terra. (Martins, 2012). O documento “A Soil Bioengineering Guide”, do Departamento de serviços de Agricultura e Florestas dos Estados Unidos (USDA Forest Services), apresenta a figura 49, onde técnicas de bioengenharia de solos são cruzadas com usos indicados.

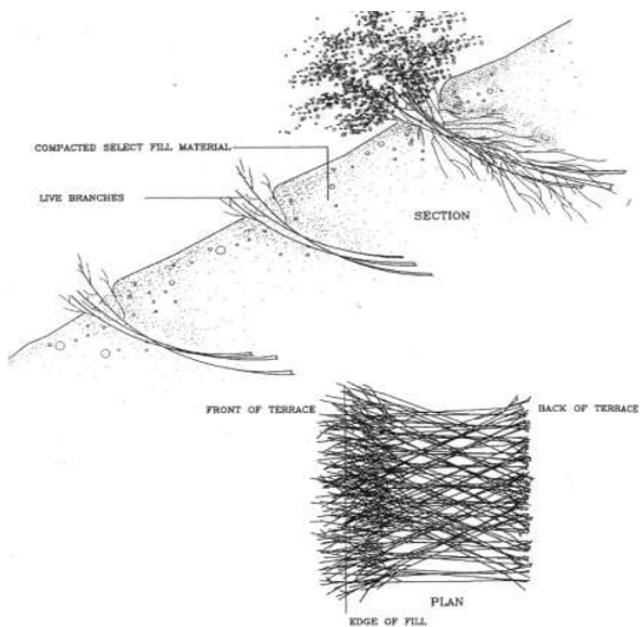


Figura 50. Brushlayering (Fonte: Gray e Sotir, 1996, pág 232)

Applications	Techniques	Branch Packing	Brush Layering	Brush Mattress	Coconut Fiber Log	Erosion Control Fabric	Hay Bale Breakwater	Joint Planting	Jute-mat Log	Live Cutwall	Live Fas...
Aides natural regeneration colonization	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Appropriate above and below OHW/bankfull				x				x			
Branches add tensile strength to the bank	x	x									
Deflects strong or high flows when placed close together											
Facilitates drainage on wet sites, dries excessively wet sites			x							x	
Filter barrier to prevent erosion and scouring of the bank	x	x	x	x	x	x		x		x	
Flexible, can be molded to existing contours				x	x			x			
Good on lakes where water levels fluctuate						x					
Helps establish sods and grasses						x	x				
Immediate protective cover for the bank			x		x				x		
Instant habitat improvement											
Little site disturbance	x				x	x	x	x	x		x
Maintains a natural bank appearance	x	x	x	x	x			x		x	
Manufactured in the field	x	x	x			x	x	x	x	x	x
Minimum site disturbance		x		x	x	x	x				
Maximum site disturbance during construction	x									x	
Rapid reestablishment of riparian vegetation	x	x	x				x	x	x	x	
Protects banks from shallow slides	x			x			x	x	x	x	
Reduces a long beach wash into shorter segments										x	
Reduces slope length	x	x		x				x		x	
Reduces surface erosion		x		x				x		x	
Reduces toe erosion			x	x		x		x	x	x	
Reduces wind and water velocities hitting bank					x						
Retains moisture					x	x		x			
Roots stabilize banks	x	x	x				x		x	x	
Survives fluctuating water levels											
Traps sediment	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Useful where spaces is limited			x	x				x	x	x	
Lakes and shorelines	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Figura 51. Gráfico de Técnicas de Estabilização (Fonte: USDA Forest Service)

4. DADOS OBTIDOS PARA O PROJETO

Os registros foram feitos de duas formas: por fotografias do local, de forma que se registrassem os principais problemas encontrados nas margens desse córrego; e por meio de formulários de registro para informações de medição, informações de localização, análises das margens e observações em geral.

O formulário foi elaborado de forma a ter uma análise da parte hidráulica e das margens do córrego. Os formulários preenchidos de cada trecho, ao todo foram medidos quatro trechos, totalizando quase 0,5 km.

4.1.1 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada para caracterizar o córrego tem como objetivo encontrar um intervalo de tensões de arraste provocada por uma série de vazões, a fim de que se possa comprovar a viabilidade para implantação das técnicas de bioengenharia nesse projeto de recuperação, além de oferecer outros dados que serviram de base para a execução do projeto em si.

Para tanto, a metodologia seguiu os seguintes passos:

- Definição do método utilizado para calcular a vazão de cheia do córrego (método racional);
- Obtenção de dados pluviométricos através das curvas IDF da cidade de São Paulo para diferentes períodos de retorno;
- Aplicação do método racional e obtenção de uma série de vazões para diferentes intensidades de chuvas com diferentes períodos de retorno;
- Medição de parâmetros geométricos do córrego, para se encontrar as profundidades e raios hidráulicos que correspondem às vazões obtidas anteriormente;
- Aplicação da fórmula de Chow para ter tanto a tensão de arraste do leito como a tensão de arraste nas margens;
- Por fim, a avaliação da viabilidade da técnica de bioengenharia escolhida para o projeto.

Levando em conta a extensão do córrego e as características simples que ele apresenta, para obter dados relativos à parte hidráulica do córrego Corveta Camacuã, dividiu-se o córrego em alguns segmentos que possuíam características semelhantes e uniformes entre si para que, então, fosse obtido um perfil médio do canal e a seção transversal do córrego. Assim, foi-se possível adquirir dados hidráulicos (geométricos) para análise da alternativa a ser implementada.

Cada trecho medido foi identificado e suas informações coletadas em formato de formulário, que podem ser vistas na Figura 25. O formulário também

permitiu obter dados qualitativos e quantitativos que envolvem o córrego, como o nível social ao redor (dados qualitativos) ou comprimento do córrego (dados quantitativos), o que permite um conhecimento mais aprofundado dos problemas e desafios apresentados por este córrego.

Caracterização por segmento - Córrego Corveta Camacuã	
Identificação do trecho	<input type="text"/>
Largura	<input type="text"/> m
Altura da seção	<input type="text"/> m
Comprimento	<input type="text"/> m
Profundidade	<input type="text"/> m
Largura Total (c/ margens)	<input type="text"/> m
Nível de resíduos	<input type="text"/>
Instabilização das margens	<input type="text"/>
Empresa responsável	<input type="text"/>
Nível social ao redor	<input type="text"/>
Qualidade geral do trecho	<input type="text"/>
Referência de localização	<input type="text"/>
Observações	<input type="text"/>

Figura 52. Modelo formulário preenchido em campo. (Fonte: Autoria própria)

4.1.2 HIPÓTESES ADOTADAS E PARÂMETROS UTILIZADOS

Como hipóteses adotadas para simplificar e/ou tornar possível a realização das medições do córrego, citam-se as seguintes:

- Representação trapezoidal da seção vertical deste córrego: através da análise por observação do córrego, pode-se perceber que as margens e o leito do rio podem ser representados por uma seção em formato de trapézio (como se pode comprovar através das fotos em anexo);

- Consideração da vazão apresentada no momento da medição como sendo a forma natural do córrego: adotou-se que o nível d'água visualizado em algumas visitas feitas ao córrego se mantém constante na grande maioria do tempo. Como não se tem dados históricos da vazão deste córrego, adotou-se a vazão a partir da lâmina d'água medida no local;
- Análise da qualidade da água de forma superficial: como já foi feito um projeto de melhoria da qualidade da água (Programa Córrego Límpo), não foram feitas novas análises, somente uma observação superficial da qualidade da água. A análise feita foi baseada em dois aspectos: turbidez da água e a quantidade de resíduos depositados no leito e nas margens do córrego Corveta Camacuã;
- Trechos com características uniformes: hipótese confirmada ao longo das medições realizadas, devido à uniformidade observada do curso d'água, sobretudo em relação a vazão do rio e a sua inclinação, que praticamente se mantém inalterada ao longo do percurso do córrego;
- Utilização do método racional: como a área da bacia é menor que 2 km² (Figura 26) pode-se utilizar desse método para simplificar o cálculo da vazão de cheia do córrego.

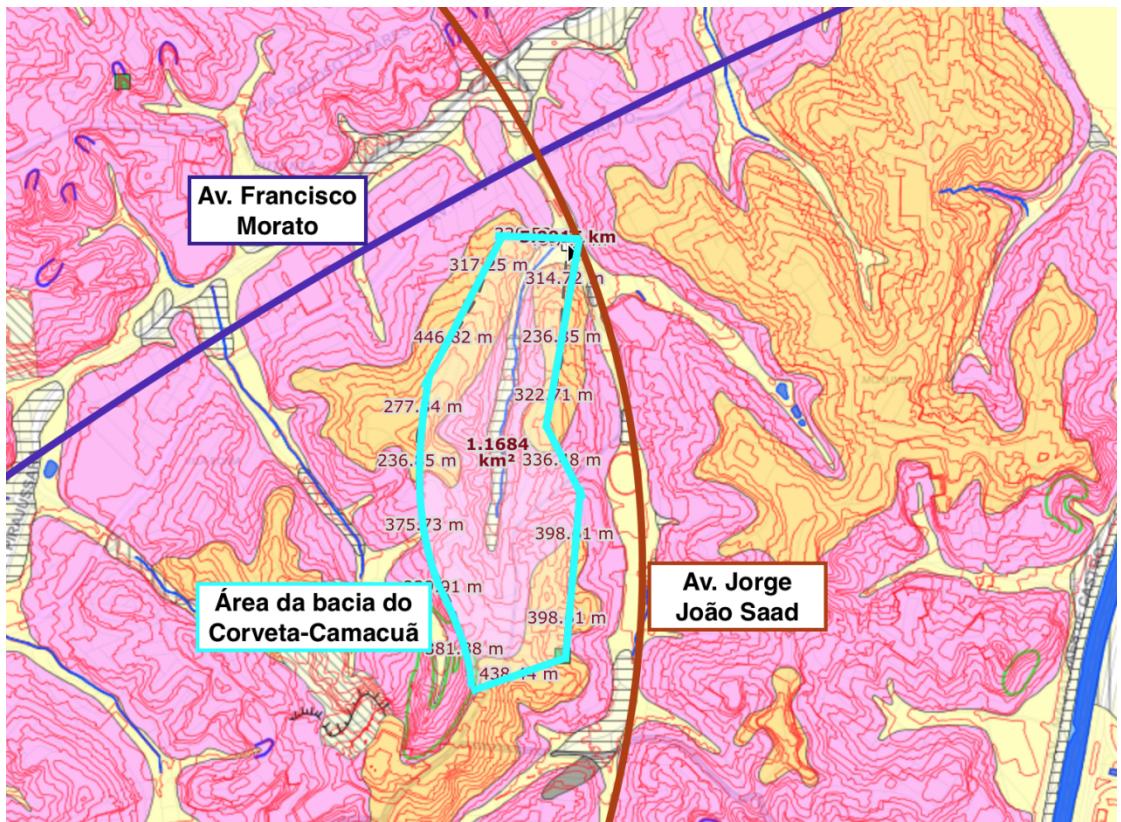


Figura 53. Área da bacia do córrego Corveta Camacuã calculada pelo sistema Geosampa da prefeitura de São Paulo. (Fonte: GeoSampa Mapa)

Em relação aos dados medidos, segue descrição de cada critério para que não haja dúvida dos parâmetros usados:

- 1) Largura: medida referente à largura do leito do rio, de onde provém a base inferior do trapézio que forma o canal trapezoidal, que representa o córrego;
- 2) Altura da seção: medida dada desde o ponto mais alto das margens até o ponto mais profundo do leito do rio, passando-se pela lâmina d'água;
- 3) Profundidade: distância entre o ponto da superfície d'água e o ponto mais profundo do leito do córrego;
- 4) Largura total: distância total de ponta a ponta das margens, que caracteriza a base superior do trapézio, que representa o córrego.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS

Dados obtidos através da medição, preenchidos nos formulários, permitem a obtenção da Tabela 1:

Tabela 1. Resultado das medidas realizadas em trechos do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
Largura (m)	2,12	3,07	3,33	3,36
Altura da seção (m)	3,85	3,68	3,86	3,55
Profundidade (m)	0,1	0,15	0,1	0,2
Largura total (m)	13,2	14,9	14,86	14,95
Comprimento (m)	57,34	60,16	58,28	275,42

Apesar do comprimento do córrego ser menor que a somatória dos trechos medidos e apresentados na Tabela 1 (451,20 m), foi possível realizar uma análise técnica que contempla o modelo do método racional que foi utilizado nos cálculos de projeto. Os demais trechos do córrego são de difícil acesso para medição e/ou estão canalizados.

Desta forma, postas todas as hipóteses, é possível retirar um perfil médio do córrego, as medidas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Medidas médias do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

	Média
Largura (m)	2,97
Altura da seção (m)	3,74
Profundidade (m)	0,14
Largura total (m)	14,48

Essas medidas que representam o "córrego médio" foram utilizadas nos cálculos e análises deste projeto, principalmente para o cálculo da vazão do canal e da tensão de arrasto. Através destes resultados, são feitas

também projeções e estudos referentes à hidrologia e drenagem da bacia do córrego.

Além de serem utilizados nos cálculos hidráulicos e hidrológicos que são a base da efetividade do método de bioengenharia utilizado, esses dados foram utilizados no dimensionamento do projeto.

4.3 REPRESENTAÇÃO HIDRÁULICA DO CÓRREGO

A partir dos resultados obtidos na Tabela 1 e na Tabela 2 pode-se considerar um perfil da seção vertical médio do córrego Corveta Camacuã, conforme apresentado na Figura 52.

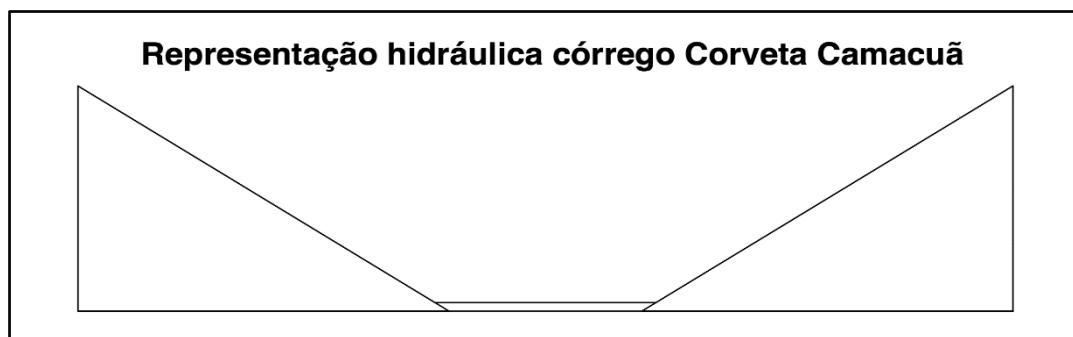


Figura 54. Representação da seção vertical média do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

Outra representação gráfica é mostrada na Figura 28, com as medidas para identificação das proporções deste córrego, em especial da seção vertical. Esses dados geométricos são utilizados para a realização de cálculos hidráulicos, como por exemplo, a vazão do curso d'água.

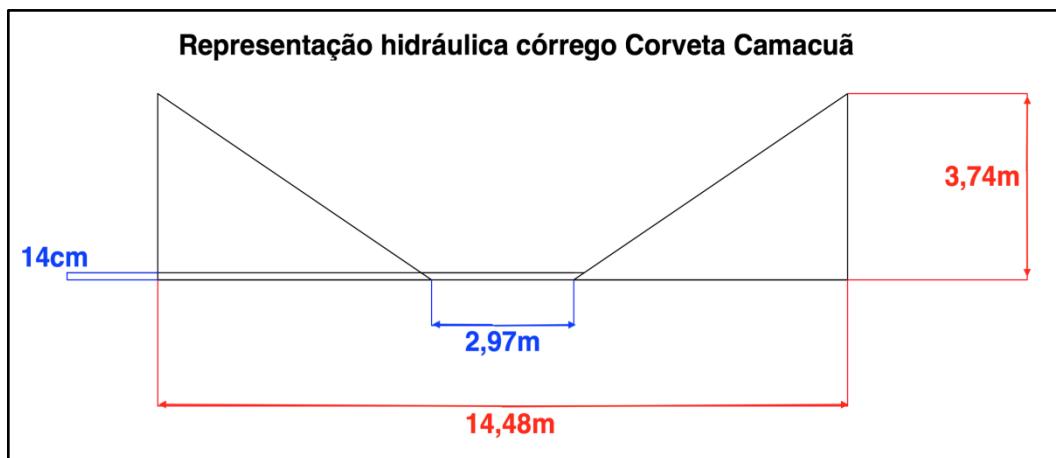


Figura 55. Representação da seção vertical média com detalhes do córrego Corveta Camacuã
(Fonte: Autoria própria)

4.4 PERFIL DO CÓRREGO CORVETA CAMACUÃ

Com base em dados da prefeitura da cidade de São Paulo, disponibilizados no programa GeoSampa Mapa, foi possível medir o córrego e, então, obter o comprimento total do córrego para, assim, traçar o perfil do córrego com os valores das suas respectivas cotas. Esses dados estão apresentados na Figura 54.

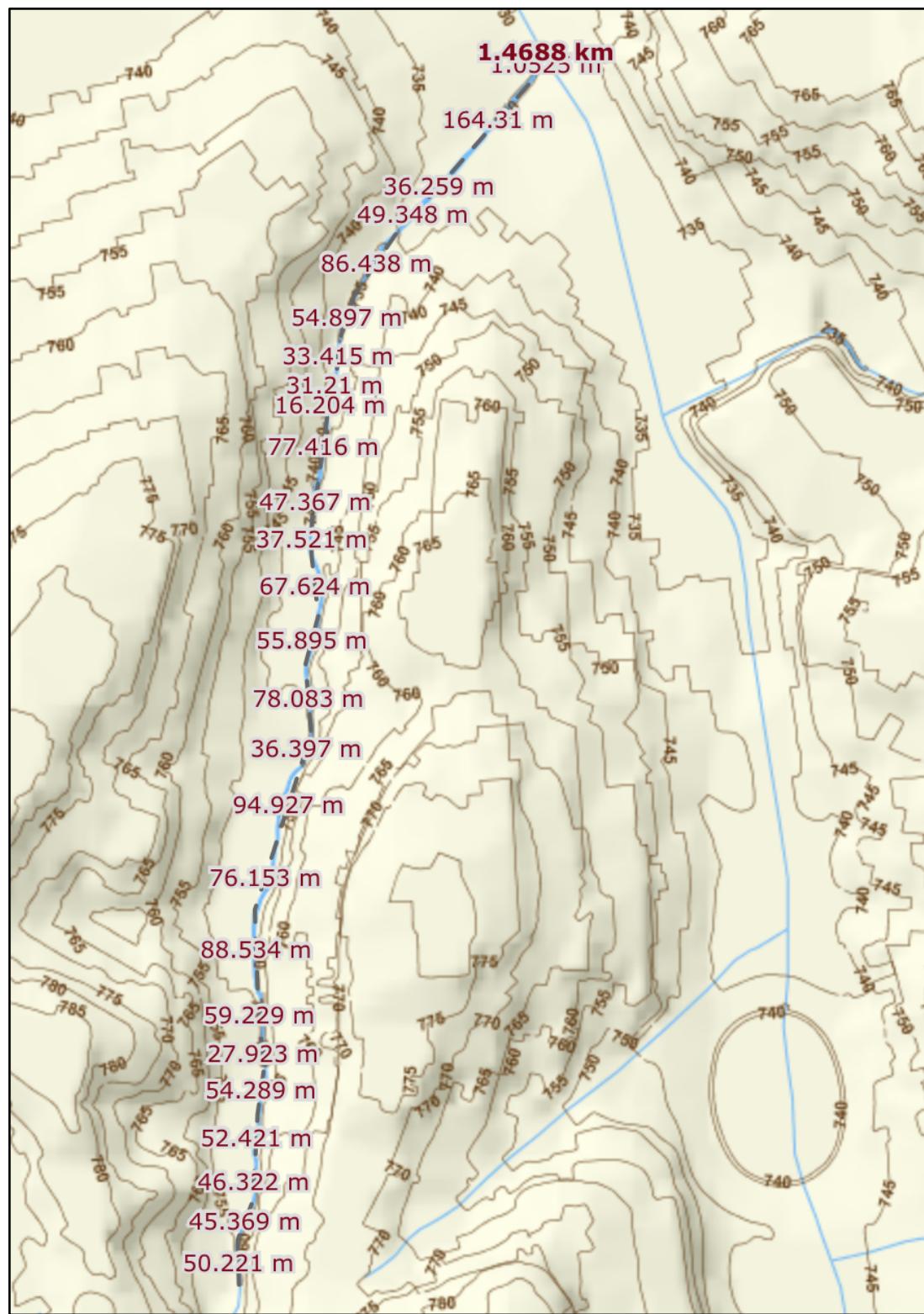


Figura 56. Resultado da medição das distâncias e das cotas do córrego. (Fonte: Autoria própria)

A carta topográfica da Figura 54, permitiu desenhar o perfil do córrego. Pela interpolação linear deste perfil (Tabela 3), deduziu-se a inclinação média do córrego Corveta Camacuã. Esta inclinação é utilizada para o cálculo da vazão.

Tabela 3. Medições de distâncias (acumuladas e ponto a ponto) e de suas respectivas cotas
(Fonte: Autoria própria)

Cota (m)	Distância acumulada (m)	Distância entre pontos (m)
755	0	0
754	50,22	50,22
753	95,58	45,36
752	141,91	46,33
751	194,33	52,42
750	248,62	54,29
749	276,54	27,92
748	333,77	57,23
747	424,31	90,54
746	500,46	76,15
745	595,39	94,93
744	631,78	36,39
743	709,87	78,09
742	765,76	55,89
741	833,39	67,63
740	870,91	37,52
739	918,27	47,36
738	995,69	77,42
737	1019	23,31
736	1043	24
735	1076	33
734	1131	55
733	1218	87
732	1267	49
731	1303	36
730	1468	165

A partir dos dados da Tabela 3, é possível traçar graficamente o perfil do córrego, relacionando as distâncias acumuladas com as cotas, formando pontos coordenados que podem ser vistos na Figura 55.

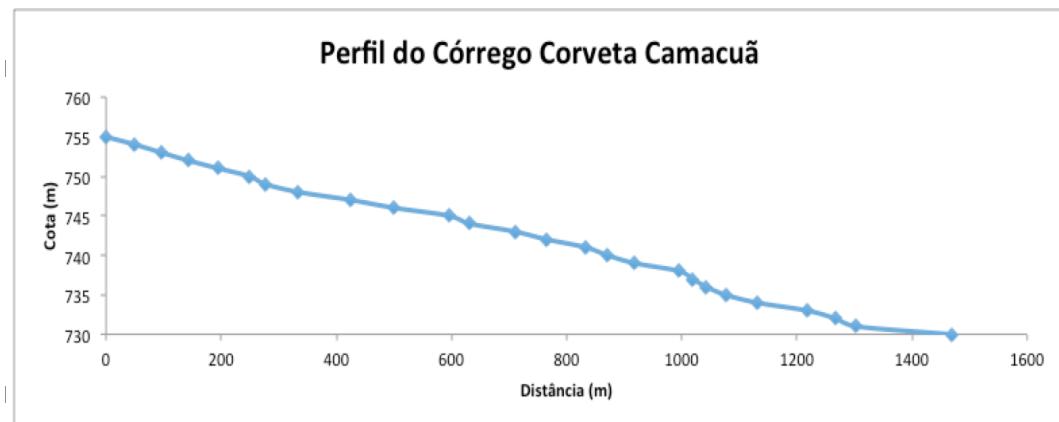


Figura 57. Perfil do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

O ponto de distância "zero", ou seja, o início do sistema de coordenadas é a nascente do córrego Corveta Camacuã e o último ponto de coordenadas é a foz, no córrego Antonico, que atualmente está canalizado abaixo na Avenida Jorge João Saad.

Pode-se ajustar o córrego em estudo a uma reta através de uma interpolação linear para que, com a equação desta reta, obtenha-se a inclinação e, consequentemente, a inclinação média do córrego. Assim sendo, o perfil médio deste córrego é dado pela Figura 56.

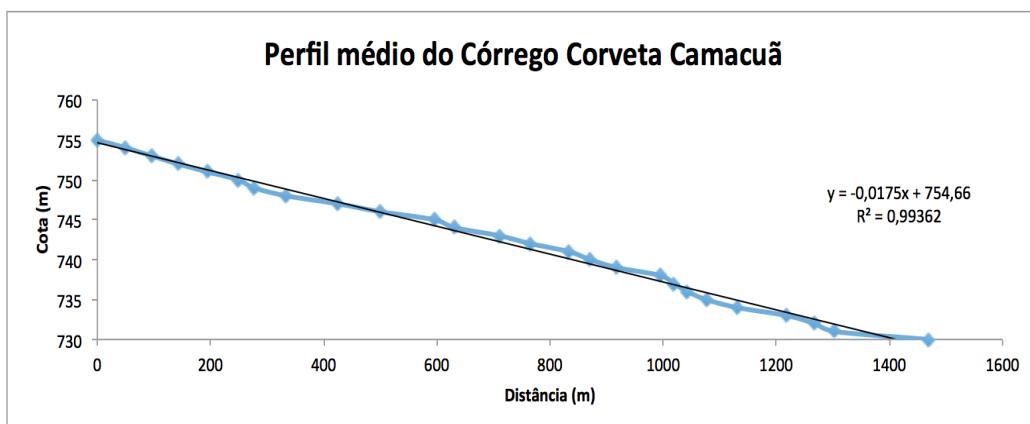


Figura 58. Perfil médio do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

Deve-se observar uma pequena diferença entre os dados observados no programa da prefeitura de São Paulo (GeoSampa Mapa) e os dados obtidos do programa Córrego Limpo da Sabesp. No programa digital da prefeitura, a

distância total do córrego é de aproximadamente 1,46km, enquanto os dados do programa da Sabesp informam um comprimento total de 1,80km de córrego.

4.5 CÁLCULO DA VAZÃO NATURAL

A obtenção de todos os dados tem como um dos objetivos principais o cálculo da vazão natural deste córrego. É importante frisar que as hipóteses adotadas nas medições continuam tendo validade nesta seção de cálculo da vazão natural do rio.

A vazão de um canal, segundo o engenheiro Robert Manning, pode ser calculada pela seguinte fórmula, de nome análogo ao seu criador, que pode ser vista a seguir na equação (1):

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{2/3} A \sqrt{i} \quad (1)$$

A equação (1) é válida para os escoamentos permanentes, uniformes e turbulentos rugosos, com grande número de Reynolds. Segundo Porto (2000), deve-se observar que a fórmula de Manning, além de ter origem empírica, carrega um coeficiente n que não é um adimensional. Os valores do coeficiente n para vários tipos de revestimentos em canais artificiais e em cursos d'água naturais encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de coeficientes de rugosidade de diversos revestimentos (Fonte: PORTO, 2000)

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilineos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplaínada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilineos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espalhadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espalhadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (1998) e Cirilo et al. (2001)

O coeficiente de rugosidade será um importante parâmetro dentro deste projeto, pois levando-se em conta que os demais parâmetros da fórmula de Manning (equação 1) são constantes e não serão alteradas neste processo, a variável será o coeficiente citado para que os valores de vazão sejam os menores possíveis, evitando maiores resistências ao longo das margens do córrego, evitando e/ou atenuando os processos erosivos dessas mesmas margens.

Além do coeficiente de rugosidade, outros parâmetros geométricos, como a área da seção vertical do córrego (A ou Amolhada) e o raio hidráulico (Rh ou R) da mesma seção, que é apresentado na equação (2), são obtidos. Com os dados apresentados na Tabela 2 e ilustrados na Figura 28, pode-se obter a área molhada e o perímetro molhado (Pmolhado) da seção trapezoidal do córrego.

A inclinação média será utilizada também na equação (1) para o cálculo da vazão. Esta declividade de fundo (i) foi demonstrada, calculada e ilustrada na Figura 31, dentro do conceito de perfil médio do córrego.

$$R = \frac{A_{molhada}}{P_{Molhado}} \quad (2)$$

Segundo Evangelista (2014), pode-se encontrar os parâmetros geométricos citados na equação (2) aplicando as equações (3) e (4) que abordando, respectivamente o perímetro molhado (P) e a área da seção trapezoidal (A) do córrego.

$$P = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad (3)$$

$$A = (b + m \cdot h) \cdot h \quad (4)$$

A inclinação das margens (m) é obtida pela equação (5) que leva em consideração a altura total do canal (H), a largura total (B) e a largura do leito (b). Desta forma:

$$m = \frac{\frac{(B-b)}{2}}{H} \quad (5)$$

Assim, fazendo uma relação dos dados medidos em campo e/ou coletados via base de dados da prefeitura, tem-se uma síntese deles na Tabela 5 que contém as suas respectivas unidades.

Tabela 5. Dados medidos e/ou coletados do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade
Largura total	B	14,48	m
Largura do leito	b	2,97	m
Altura da seção	H	3,74	m
Profundidade	h	0,14	m
Declividade de fundo	i	0,0175	m/m

Com os dados apresentados na Tabela 5, foi possível realizar os cálculos apresentados nas equações (2), (3), (4) e (5) e, desta forma, a sua compilação pode ser expressa na Tabela 6.

Tabela 6. Dados calculados do córrego Corveta Camacuã (Fonte: Autoria própria)

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade
Inclinação das margens	m	1,54	-
Área	A	0,446	m ²
Perímetro molhado	P	3,484	m
Raio hidráulico	Rh	0,128	m

Portanto, para os coeficientes de rugosidade empregados para diversos tipos de revestimentos das margens e do leito, pode-se encontrar a vazão, apresentada na equação (1), correspondente aplicada ao córrego Corveta Camacuã, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Cálculo da vazão natural do córrego aplicada para vários coeficientes de rugosidade
(Fonte: Autoria própria)

Tipo de material	Condições	n	Q (m³/s)	Q (L/s)
Canais com leito pedregoso e vegetação nos taludes	Muito Boas	0,025	0,0190	18,9539
	Boas	0,03	0,0158	15,7949
	Regulares	0,035	0,0135	13,5385
	Más	0,04	0,0118	11,8462
Superfícies de cimento alisado	Muito Boas	0,01	0,0474	47,3848
	Boas	0,011	0,0431	43,0771
	Regulares	0,012	0,0395	39,4874
	Más	0,013	0,0364	36,4499
Canais com revestimento de concreto	Muito Boas	0,012	0,0395	39,4874
	Boas	0,014	0,0338	33,8463
	Regulares	0,016	0,0296	29,6155
	Más	0,018	0,0263	26,3249
Calhas de prancha de madeira aplainada	Muito Boas	0,01	0,0474	47,3848
	Boas	0,012	0,0395	39,4874
	Regulares	0,013	0,0364	36,4499
	Más	0,014	0,0338	33,8463
Calhas metálicas lisas	Muito Boas	0,011	0,0431	43,0771
	Boas	0,012	0,0395	39,4874
	Regulares	0,013	0,0364	36,4499
	Más	0,015	0,0316	31,5899
Canais com fundo de terra e vegetação nos taludes	Muito Boas	0,028	0,0169	16,9232
	Boas	0,03	0,0158	15,7949
	Regulares	0,033	0,0144	14,3590
	Más	0,04	0,0118	11,8462
Arroios e rios limpos, retilíneos e uniformes	Muito Boas	0,025	0,0190	18,9539
	Boas	0,028	0,0169	16,9232
	Regulares	0,03	0,0158	15,7949
	Más	0,033	0,0144	14,3590
Arroios e rios limpos, retilíneos e uniformes com vegetação e pedras	Muito Boas	0,025	0,0190	18,9539
	Boas	0,028	0,0169	16,9232
	Regulares	0,03	0,0158	15,7949
	Más	0,033	0,0144	14,3590
Arroios e rios com margens espraiadas (muita vegetação)	Muito Boas	0,075	0,0063	6,3180
	Boas	0,1	0,0047	4,7385
	Regulares	0,125	0,0038	3,7908
	Más	0,15	0,0032	3,1590

Ressalta-se que esses valores de coeficientes de rugosidade têm variações de acordo com a sua qualidade de implementação (Porto, 2000), ou seja, para cada natureza de leito e paredes, existe um tipo de qualidade atrelada a ela, que pode ser Muito Boa, Boa, Regular e Má, como consta na Tabela 7.

Outro ponto que merece destaque é a comparação entre as vazões calculadas e a vazão fornecida pelo Programa Córrego Limpo da Sabesp. No programa da Sabesp, a vazão do córrego Corveta Camacuã é de cerca de 3,0 L/s. Desta forma, de acordo com os calculados efetuados e mostrados na Tabela 7, pode-se concluir que a Sabesp considerou o córrego como um arroio com margens espraiadas de muita vegetação de condições regulares a más,

este fato pode ser observado em uma visita técnica ao córrego Corveta Camacuã.

4.6 CÁLCULO DA VAZÃO SUPERFICIAL - MÉTODO RACIONAL

Como a área da bacia é menor que 2 km², é possível utilizar o método racional para se obter o cálculo da vazão superficial para o córrego. O cálculo da vazão utilizando o método mencionado é obtido pela seguinte fórmula:

$$Q = C \cdot I \cdot A_b \quad (6)$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento;

I = precipitação (mm/h);

Ab = área da bacia (km²).

De acordo com o programa GeoSampa, é possível obter a área da bacia que é 1,1684 km². De acordo com Righetto (1998), tem-se os valores para o coeficiente de escoamento (C), que representa o grau de adensamento de edificações ao longo da bacia hidrográfica em questão. A Tabela 8 mostra os valores máximo (Cmax), mínimo (Cmin) e médio (Cmed) que podem ser atribuídos para cada tipo de adensamento de edificações.

Tabela 8. Valores de coeficiente de escoamento para cada grau de adensamento de edificações
(Fonte: PORTO, 2000)

Coeficiente de escoamento			
Grau de adensamento de edificação	Cmin	Cmax	Cmed
Muito grande	0,700	0,950	0,825
Grande	0,600	0,700	0,650
Médio	0,400	0,600	0,500
Pequeno	0,200	0,400	0,300

Para a análise do córrego Corveta-Camacuã foi-se estabelecido que o coeficiente utilizado seria o coeficiente médio para o grau de adensamento grande, visto que o córrego se encontra dentro de um bairro residencial do município de São Paulo, ou seja, $C = 0,650$.

Para os dados de precipitação (I), foram usadas as curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) com os dados referentes à cidade de São Paulo. A equação 7 mostra a fórmula utilizada.

$$I = \frac{K \cdot T_R^m}{(t+t_0)^n} \quad (7)$$

Onde:

I = intensidade média da chuva (mm/h);

t = duração da chuva (h);

T_R = tempo de retorno (anos);

m , n , K , t_0 = constantes (parâmetros) de ajuste da equação.

As constantes utilizadas encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Constantes utilizadas para a construção das curvas IDF da cidade de São Paulo
(Fonte: FCTH-SP)

Constantes				
Local	K	m	t0	n
São Paulo	57,71	0,172	22	1,025

Assim, para os períodos de retornos de 5, 10, 25, 50 e 100 anos e para uma série de tempo de duração média de precipitação, é possível obter os resultados expressos na Tabela 10 e, desta forma, visualizados na Figura 57.

Tabela 10. Resultados da aplicação das curvas IDF para a cidade de São Paulo (Fonte: Autoria própria)

Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
10	2,181	2,457	2,877	3,241	3,652
20	1,651	1,860	2,177	2,453	2,763
30	1,326	1,494	1,749	1,970	2,220
40	1,107	1,248	1,460	1,645	1,854
50	0,950	1,070	1,253	1,412	1,590
60	0,831	0,937	1,097	1,235	1,392
70	0,739	0,832	0,975	1,098	1,237
80	0,665	0,749	0,877	0,988	1,113
90	0,604	0,680	0,797	0,897	1,011
100	0,553	0,623	0,730	0,822	0,926
110	0,510	0,575	0,673	0,758	0,854
120	0,474	0,534	0,625	0,704	0,793
130	0,442	0,498	0,583	0,656	0,739
140	0,414	0,466	0,546	0,615	0,693
150	0,389	0,438	0,513	0,578	0,651
160	0,367	0,414	0,484	0,546	0,615
170	0,348	0,392	0,458	0,517	0,582
180	0,330	0,372	0,435	0,490	0,552
190	0,314	0,354	0,414	0,467	0,526
200	0,300	0,337	0,395	0,445	0,501
210	0,286	0,323	0,378	0,425	0,479
220	0,274	0,309	0,362	0,407	0,459
230	0,263	0,296	0,347	0,391	0,440
240	0,253	0,285	0,333	0,376	0,423
250	0,243	0,274	0,321	0,361	0,407
260	0,234	0,264	0,309	0,348	0,392
270	0,226	0,255	0,298	0,336	0,379
280	0,219	0,246	0,288	0,325	0,366
290	0,211	0,238	0,279	0,314	0,354
300	0,205	0,231	0,270	0,304	0,343
400	0,155	0,175	0,205	0,230	0,260
500	0,125	0,140	0,164	0,185	0,209
600	0,104	0,117	0,137	0,155	0,174
700	0,089	0,101	0,118	0,133	0,150
800	0,078	0,088	0,103	0,116	0,131
900	0,070	0,078	0,092	0,103	0,117
1000	0,063	0,071	0,083	0,093	0,105

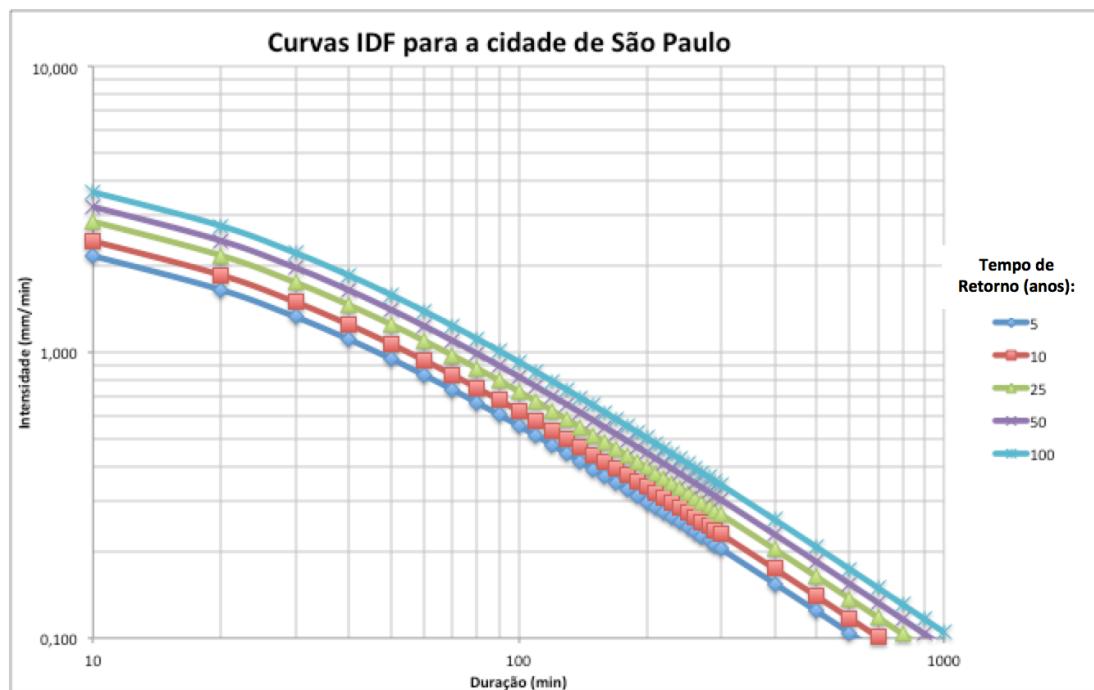


Figura 59. Gráfico das curvas IDF para a cidade de São Paulo (Fonte: FCTH-SP)

Com os resultados obtidos anteriormente de área da bacia (Ab), coeficiente de escoamento (C_{med}) e intensidade média de precipitação (I), é possível aplicar a equação 7 que é o método racional. Os resultados para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultados da aplicação do método racional para a bacia do córrego Corveta-Camacuã (Fonte: Autoria própria)

Método Racional				
Duração (h)	Tempo de retorno (anos)	I (mm/h)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
0,50	5	79,56	60,426	60426,4
0,50	10	89,64	68,078	68077,5
0,50	25	104,94	79,698	79698,4
0,50	50	118,23	89,790	89789,7
0,50	100	133,20	101,159	101158,8
1,00	5	49,88	37,885	37885,3
1,00	10	56,20	42,682	42682,3
1,00	25	65,79	49,968	49968,2
1,00	50	74,13	56,295	56295,1
1,00	100	83,51	63,423	63423,2
2,00	5	28,41	21,579	21579,2
2,00	10	32,01	24,311	24311,5
2,00	25	37,48	28,461	28461,5
2,00	50	42,22	32,065	32065,2
2,00	100	47,57	36,125	36125,3

4.7 CÁLCULO DA TENSÃO DE ARRASTE

Booth e Reinolt (1999) postulam que, quando a bacia tem mais de 10% de sua área impermeabilizada, começam os problemas de alargamento dos rios e córregos e consequentemente a erosão dos mesmos.

Um parâmetro muito importante no estudo da erosão de córregos e rios é a Tensão Trativa Média ou Tensão de Arraste. Conforme French (2007) por definição a Tensão Trativa é a força que age nas partículas no perímetro de um canal e é o resultado do escoamento da água sobre estas partículas.

Na prática, a tensão trativa não é somente uma força que age sobre uma partícula, mas a força que a água exerce sobre uma certa área e perímetro do canal. O conceito de tensão trativa foi dado por duBoys (1879) e reestudado mais tarde por Lane (1955).

Desta forma, segundo Chow (1964) a tensão de arrastamento (σ) é dada pela equação (6) que segue:

$$\sigma = \gamma \cdot R_H \cdot i \quad (6)$$

Onde:

γ = peso específico da água (10^4 N/m^3)

R_H = raio hidráulico (m)

i = declividade de fundo (m/m)

Assim, considerando como constantes do processo o peso específico da água e a declividade de fundo, e deixando-se variar o raio hidráulico a partir dos diversos valores de profundidade encontrados pela vazão utilizando o método racional anteriormente para alguns períodos de retorno, pode-se encontrar a variação da tensão de arraste dentro do córrego Corveta Camacuã, como apresentado na Tabela 12.

A última linha da Tabela 12 apresenta a média dos valores obtidos, esta média é considerada para o dimensionamento. A tensão de arrasto está dividida em tensão de arrasto do leito (σ_l) e das margens (σ_m), sendo que σ_m

Duração (h)	Tempo de retorno (anos)	I (mm/h)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)	y (m)	Rh (m)	Tensão de arrasto (σ)	
							σ_l (kN/m ²)	σ_m (kN/m ²)
0,50	5	79,56	60,426	60426,4	3,933	2,0388	0,3568	0,268
0,50	10	89,64	68,078	68077,5	4,149	2,1329	0,3733	0,280
0,50	25	104,94	79,698	79698,4	4,449	2,2630	0,3960	0,297
0,50	50	118,23	89,790	89789,7	4,688	2,3664	0,4141	0,311
1,00	5	49,88	37,885	37885,3	3,182	1,7088	0,2990	0,224
1,00	10	56,20	42,682	42682,3	3,361	1,7879	0,3129	0,235
1,00	25	65,79	49,968	49968,2	3,611	1,8979	0,3321	0,249
1,00	50	74,13	56,295	56295,1	3,81	1,9851	0,3474	0,261
2,00	5	28,41	21,579	21579,2	2,445	1,3782	0,2412	0,181
2,00	10	32,01	24,311	24311,5	2,587	1,4426	0,2525	0,189
2,00	25	37,48	28,461	28461,5	2,786	1,5322	0,2681	0,201
2,00	50	42,22	32,065	32065,2	2,946	1,6038	0,2807	0,211
Média		71,09	53,987	53987,3	3,636	1,9064	0,3336	0,250

$$= \sigma_l \cdot 0,75.$$

Tabela 12. Cálculo das tensões de arraste (Fonte: Autoria própria)

Para os cálculos apresentados na Tabela 12, foram utilizados os dados geométricos das Tabelas 5 e 6, além da consideração do número de Manning como 0,125 e o peso específico da água como 10 kN/m³.

Os valores obtidos foram utilizados dentro da análise de escolhas de projeto, levando-se em consideração os dados de vazão que cada alternativa implicará e, desta forma, impactando na tensão que as margens receberão ao longo do tempo.

5. A PROPOSTA

A partir de geometria básica, é possível traçar o primeiro estudo sobre implementação das estruturas de contenção do solo e complementares. Nessa primeira etapa, são previstas reuniões para apresentar o projeto aos moradores e escolas da região, do ponto de vista de educação ambiental.

São feitos os estudos hidrológicos para nortear os traçados já feitos, garantindo segurança e adequação do projeto aos aspectos hidrológicas da micro bacia estudada.

Além disso, nessa etapa ocorreu a pesquisa por disponibilidade das espécies vegetais recomendáveis para utilização nas margens do córrego. Como prioridade da escolha, está a capacidade de suporte da tensão de arrasto calculada. Mas, é importante que sejam espécies vegetais que necessitem de pouca manutenção, visto o problema dos gabiões abandonados e ruindo, que suportem períodos longos de seca e inundações (flutuações sazonais) e que tenham baixo custo, para facilitar a viabilidade do projeto.

Nessa etapa, também calcula-se o melhor arranjo estrutural da vegetação e se escolhe os acessórios que vão compor o parque linear.

Tabela 13. Fases do estudo de viabilidade

(Fonte: Autoria própria)

Etapa	Ação	Produto
Estudo preliminar	Reunião de moradores e técnicos da prefeitura	Projeto preliminar com dimensionamentos e propostas
	Montagem da equipe (arquitetos, engenheiros civis e ambientais)	
	Definições dos partidos do projeto	
	Apresentação aos moradores, junto à subprefeitura, sobre o estudo preliminar do projeto	
	Busca por escolas da região para educação ambiental e a importância dos córregos e rios	Educação ambiental da população
Diretrizes para o Projeto Básico	Estudos hidrológicos da área planejada	Contratação do projeto básico e proposta técnica de hidráulica
	Elaboração do projeto básico	Pranchas gráficas do projeto básico, com dimensionamentos básicos para previsão de orçamento de construção
Diretrizes para o Projeto Executivo	Estimativas envolvendo elementos do projeto básico	Orçamento estimando os custos da obra
	Modificações nos equipamentos do parque linear e vegetação	Memorial descritivo do projeto básico, com aplicação inicial dos elementos

5.1 ESTUDO PRELIMINAR

5.1.1 REUNIÕES COM MORADORES E SUBPREFEITURAS

A participação popular em projetos que tem a proposta de oferecer um uso social a um espaço que anteriormente não tinha esse objetivo é fundamental. Afinal, os moradores são os personagens mais impactados com obras na região.

É extremamente importante que os moradores conheçam o projeto e tenham consciência da importância dos córregos e rios para a cidade. Para isso, a equipe de projeto, alinhada com as subprefeituras, deve preparar um material informativo que esclareça as possíveis dúvidas e informe aos moradores do ganho que é ter um espaço natural preservado. Já que esse ganho pode se reverter em possível aumento do metro quadrado da região, amortecimento das vazões e contenção das enchentes recorrentes, maior qualidade de vida (melhoria da qualidade do ar e das águas).

5.1.2 PARCERIA COM ESCOLAS DA REGIÃO

As escolas da região da Vila Sônia (Escola Estadual Senador Adolfo Gordo, Escola Estadual Senador Adolfo Tripoli e Escola Estadual Andronico de Melo) devem receber educação ambiental no âmbito de preservação das águas. Para isso, seria necessário trabalhar o tema em conjunto com as disciplinas oferecidas no período letivo e atividades extracurriculares aos fins de semana, como plantios e oficinas.

5.1.3 PARTIDOS DO PROJETO

O partido de um projeto é a ideia inicial dele, cujo princípio geral direciona o processo das decisões particulares do programa (BISELLI, 2011).

Pode ser ainda considerado como uma consequência formal de uma série de condicionantes, que vão orientar as diretrizes estabelecidas no projeto; tais condicionantes são: a técnica construtiva; o clima; as condições físicas e topográficas do terreno; o programa de necessidades; a condição econômica do empreendedor; e a legislação, normas sociais e/ou regras da funcionalidade (LEMOS, 2003).

Para o caso em questão, adotou-se como partido as condições técnicas do projeto, ou seja, os parâmetros hidrológicos, hidráulicos e de solo e as características do terreno.

5.2 DIRETRIZES PARA O PROJETO BÁSICO

5.2.1 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Como a região em estudo é uma área que sofre com inundações, é necessário definir a área total de contribuição do escoamento superficial e calcular a vazão de escoamento. Para isso, tem-se que utilizar o período de retorno de chuva, a partir da equação de chuva para São Paulo (CTH-USP, 1992). O que já foi apresentado no presente trabalho na descrição do método racional aplicada aos dados do córrego Corveta Camacuã.

5.2.2 TERRAPLANAGEM INICIAL

O acerto e regularização podem ser feitos manualmente ou mecanicamente, buscando eliminar os sulcos erosivos, o preenchimento dos espaços vazios e a ancoragem dos sedimentos soltos. As concavidades do terreno e as negatividades dos taludes devem ser removidas ou minimizadas, para evitar a formação de novos focos erosivos, desmoronamentos e escorregamentos.

5.2.3 ESCOLHA E DISPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO

O capim vetiver é o mais indicado para conter o processo erosivo das margens do córrego Corveta, de acordo com a análise feita sobre o crescimento de suas raízes e folhas. Quito (2014), em seu estudo sobre a influência das raízes deste capim na permeabilidade de um solo tropical compactado, apresenta uma série de justificativas para esta escolha, inclusive baseada em indicações do Banco Mundial, dentre as quais: crescimento em solos áridos ou úmidos, arenosos, argilosos, em faixa de pH variando de 3,5 a 9,6; tolerante a materiais pesados, não é uma espécie invasora (reprodução apenas por mudas) e apresenta bioactismo positivo.

O plantio da espécie é feito por mudas nuas com base de 1 ou 2 perfilhos, que são os ramos laterais, seguindo as curvas de nível do terreno ou em linha (Pinners, 2008). A figura 58 ilustra uma muda de vetiver. A recomendação é o uso de 40 toneladas de capim por hectare (Pereira, 2006).



Figura 60. Muda nua do capim vetiver (Fonte: Verdetec)

Segundo a tabela 1, onde constam as medidas coletadas no meio de cada trecho, os quatro trechos apresentam inclinações por volta de 30 graus, ou seja, toda a extensão do córrego.

Algumas localizações pontuais apresentam inclinações superiores, inclusive, estas contêm as intervenções já mencionadas anteriormente (onde se identificou risco maior e a necessidade de margens com muro de gabião pela prefeitura).

Decidiu-se, como forma de garantir maior fator de segurança no projeto, a existência de uma faixa contínua de capim vetiver (em todo o comprimento de cada um dos trechos) que terá sua largura variando conforme a inclinação do talude. Essa faixa sempre começa na parte inferior da margem, onde há o contato com a água, e sobe até altura escolhida baseada na inclinação, conforme figura 39. Após essa faixa, será instalada a faixa denominada "faixa de biodiversidade", que será composta por diferentes espécies vegetais

mencionados no item Faixa de biodiversidade (6.2.2.3.1)- preferencialmente nativas, já observadas em estabilizações de taludes com implantação em vegetações nos trabalho de Mathias (2011) e Marques (2014).

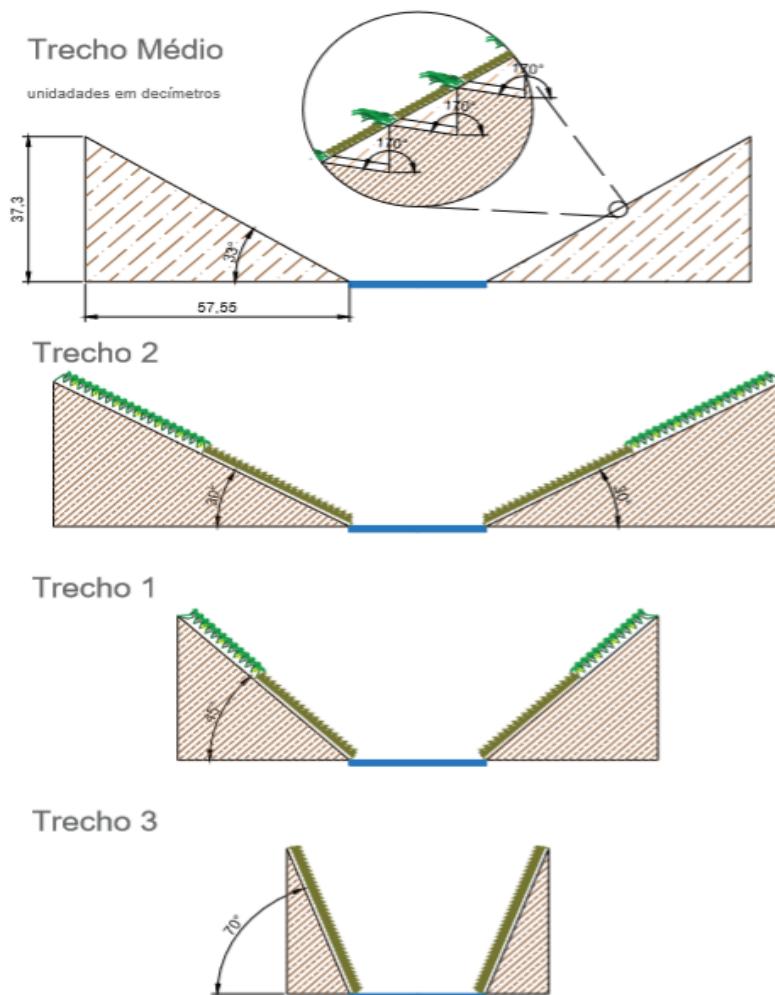


Figura 61. Faixa de vetiver começando onde água encosta nas margens e subindo o talude segundo inclinação. (Fonte: Autoria própria)

Sugere-se que a definição do ângulo de inclinação seja baseada na literatura de Pereira (2006), conforme apresentado na Figura 6 (capítulo 4.3).

Como o gráfico aponta que o ângulo de 45 apresenta o cruzamento entre a curva de solo coberto com vegetação na condição saturada (pior da categoria) e a curva com solo sem vegetação na condição insaturada (melhor da categoria), cruzamento esse que significa o mesmo fator de segurança,

esse valor de 45 graus era referência na definição da largura da faixa de vetiver.

Inclinações acima de 45 graus definirão faixas de vetiver com largura mínima de 4 metros. Inclinações acima de 60 graus definirão que toda a cobertura vegetal será de capim vetiver, garantindo a estabilização das margens com o melhor fator de segurança. Inclinações abaixo de 45 graus podem ter a faixa de vetiver com largura de 2,5 metros (observado na figura 40).

5.2.4 DO PLANTIO

5.2.4.1 FAIXA DE VETIVER

O "A Soil Bioengineering Guide" (2003) do U.S. Department of Agriculture Forest Service Technology and Development Program apresenta orientações sobre como se deve plantar o vetiver para a técnica de brushlayering. A técnica consiste em cortes horizontais onde são colocadas mudas, e esse conjunto forma as camadas.

- Os cortes horizontais devem ser feitos cerca de 0 a 0,9 metros de profundidade, de forma a criar um ângulo ligeiramente para baixo (mínimo 10 graus).
- As estacas vivas dos vegetais devem ser longas o suficiente para encostarem-se ao fundo dos cortes e se projetarem para fora, tendo diâmetro de 0,01 a 0,05 metros.

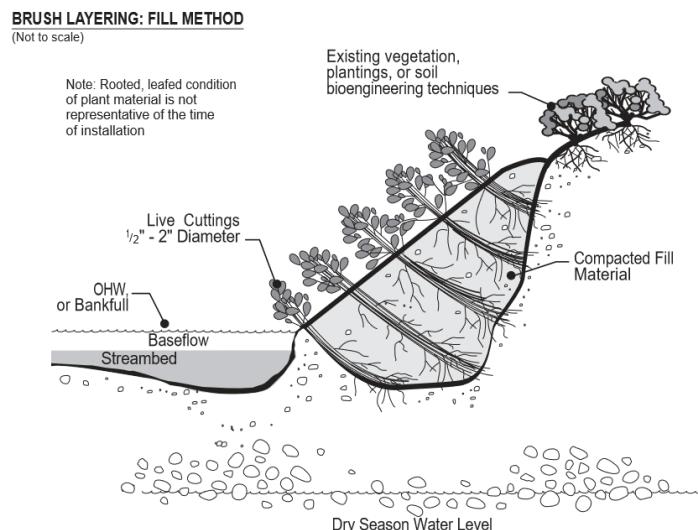


Figura 62. Disposição da vegetação (Fonte: USDA, 2003, pág 82)

- A borda inferior do corte deve ser maior do que a borda superior, ou seja, deve-se manter a inclinação da margem. As estacas devem ser colocadas dentro dos cortes de forma a se cruzarem ou se sobreponem.
- A cada metro de comprimento horizontal da trincheira (corte), devem ser colocados dentre 20 a 25 estacas.
- A parte da estaca projetada para fora deve ser 1/4 do comprimento dela.
- Deve-se compactar solo cerca de 10 centímetros ao redor das estacas e depois, as trincheiras devem ser preenchidas com a terra escavada. As trincheiras devem ser separadas cerca de 90 centímetros segundo o manual, neste projeto o espaçamento adotado será de 50 centímetros.
- Outras espécies (mudas e sementes) devem ser colocadas misturadas às estacas neste processo, elas farão parte da listagem de espécies da faixa de biodiversidade. Para esta estapa, serão consideradas as espécies Calopogonia e Centrosema, que consorciam com vetiver.

BRUSH LAYERING: PLAN VIEW
(Not to scale)

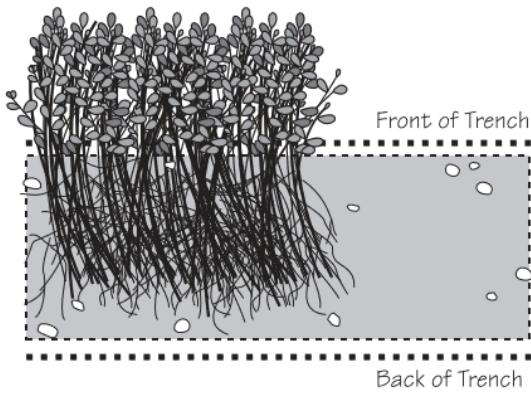


Figura 63. Disposição da vegetação (Fonte: USDA, 2003, pág 83)



Figura 64. Disposição da vegetação (Fonte: USDA, 2003, pág 83)

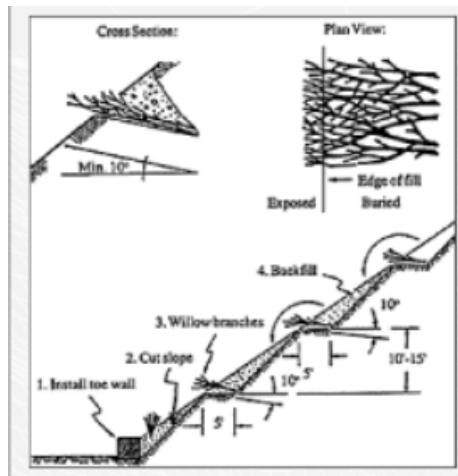


Figura 65. Disposição da vegetação (Fonte: Department of landscape architecture)

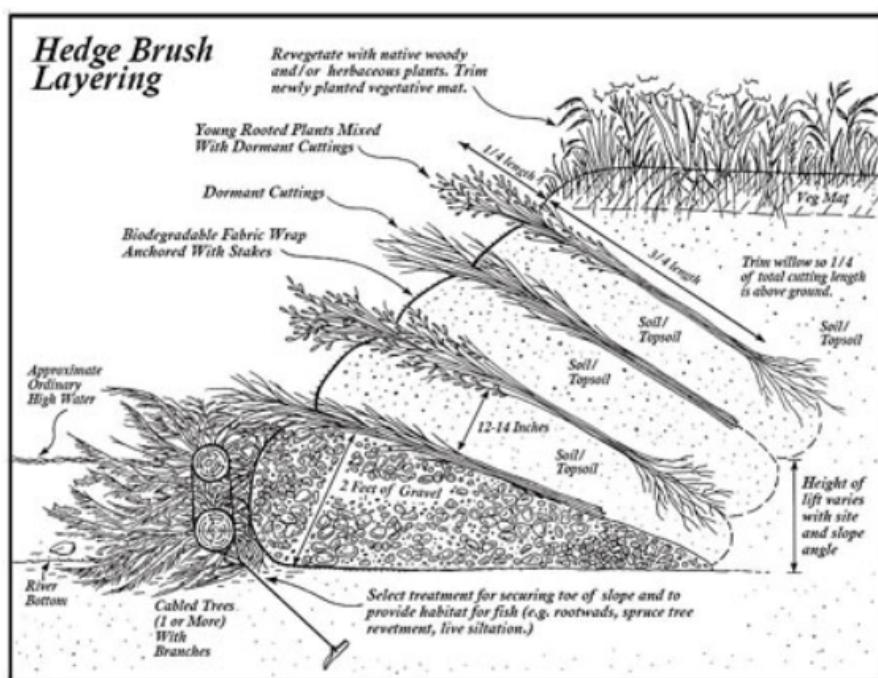


Figura 66. Disposição da vegetação (Fonte: Alaska Department of Fish and Game)

5.2.4.2 FAIXA DE VEGETAÇÃO MISTA

A faixa de vegetação mista seguirá as mesmas orientações de plantio descritas segundo o brushlayaring. A única diferença será no plantio de espécies que têm mudas curtas, não alcançando o fundo da trincheira.

Nesse caso, dentre os espaçamentos de 0,5 m das trincheiras, serão abertas covas de 5 cm de profundidade para o plantio simples de espécies diversas. Quanto a espécies a serem semeadas, o processo ocorrerá a lanço. A escolha será preferencialmente por espécies nativas, espécies com potencial de controle de erosão e que se consorciem bem. Sendo a área das margens do córrego de 0,6 ha, identifica-se o número de sementes de algumas espécies (Pereira, 2006). As figuras 65-71 ilustram espécies vegetais indicadas para o plantio.



Figura 67. *Cratylia argentea*

(Fonte: Uniprot)

20 ton/ ha



Figura 68. *Echinolaena inflexa*

(Fonte: Frutos ativos do cerrado)

20 ton/ha



Figura 69. Mucuna aferima

(Fonte: Arbocenter)

45 ton/ ha



Figura 70. Calopogonio

(Fonte: Pereira, 2006)

18 ton/ha



Figura 71. Centrosema

(Fonte: Pereira, 2006)

40 ton/ha



Figura 72. Estilosante

(Fonte: Pereira, 2006)

6 ton/ha



Figura 73. Grama comprida

(Fonte: Pereira, 2006) 40 ton/ha

A figura 72 ilustra o projeto implementado. Pode-se verificar a existência da faixa continua de vertiver ao longo de toda margem, seguida pela faixa de biodiversidade.



Figura 74. Córrego Corveta Camacuã revitalizado (Fonte: Autoria própria)

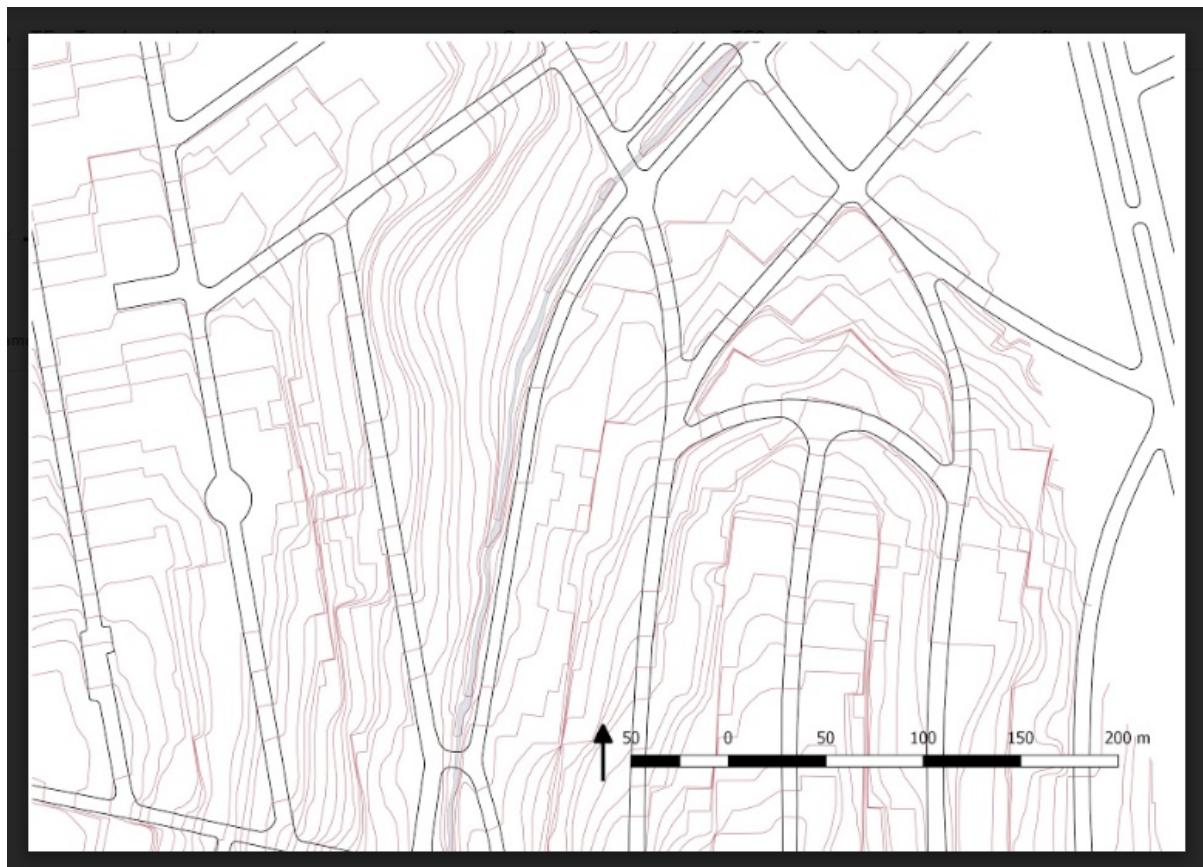


Figura 75. Representação gráfica do parque linear em curvas de nível (Fonte: Autoria própria)



Figura 76. Representação do Córrego Revitalizado (Fonte: Autoria própria)

5.2.4.3 EQUIPAMENTOS PARA O PARQUE LINEAR

Como o intuito do parque linear é fornecer um espaço social para a comunidade e considerando que o corredor entre o córrego e o pavimento é estreito, o ideal para o projeto é a implementação de bancos e equipamentos de ginástica.

Além disso, seriam distribuídas lixeiras padrão PMSP ao longo da extensão do córrego.

5.2.5 PISCINÃO ECOLÓGICO

Com o fim de complementar a contextualização de parque linear ao longo do córrego Corveta Camacuã, sugere-se a construção de um campo de futebol em proporções reduzidas (20m x 10m) dentro da área da Praça Flora Rica, como mostra a Figura 60.



Figura 77. Representação em planta da Praça Flora com o campo de futebol destacado
(Fonte: Autoria própria)

O campo construído com um rebaixamento de 1,10m abaixo do nível da praça com uma ligação entre as margens do córrego e o campo via duto. Para que ao passar por chuvas intensas que elevem o nível do córrego, a água seja transportada para o campo de futebol inundando-o e, ao final da chuva, o sistema de drenagem do campo funcionará de forma inversa, levando a água do campo para o córrego novamente via dutos menores. O perfil em corte pode ser visto na Figura 76.

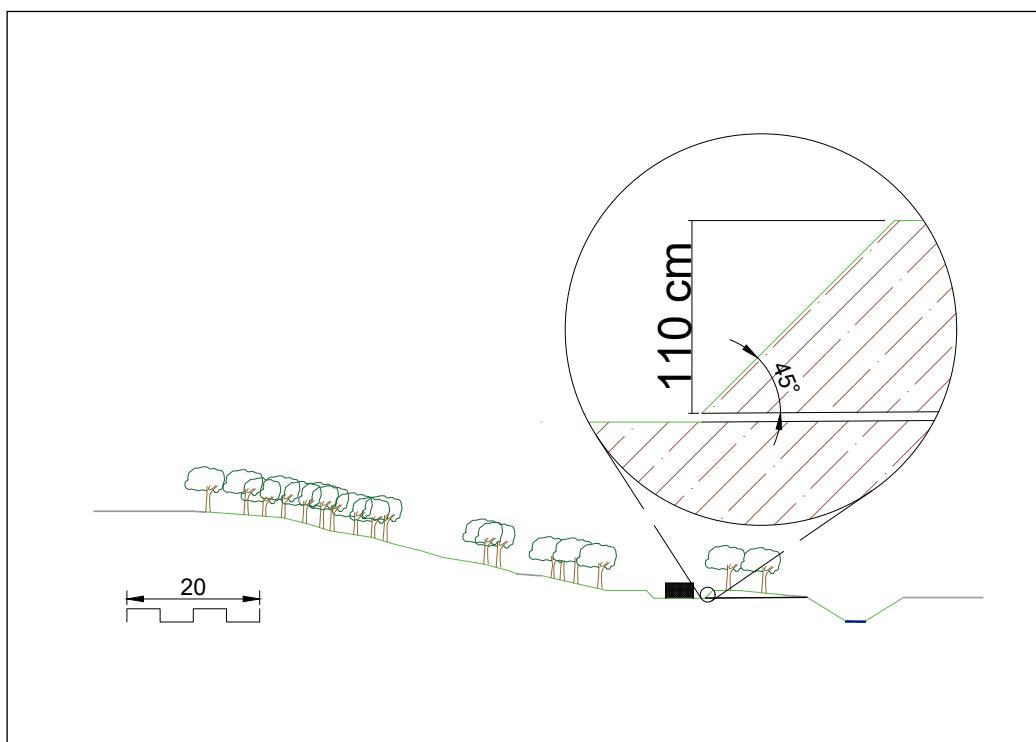


Figura 78. Corte com as dimensões do campo de futebol destacadas (Fonte: Autoria própria)

Esse sistema de piscinão ecológico auxilia a reduzir o impacto de ondas de cheia que afetam, sobretudo, o córrego Antonico e todo o complexo viário do cruzamento das avenidas Jotge João Saad e Francisco Morato. Além de poder ser utilizado, quando não houver chuva, por moradores da região como prática de lazer. Desta forma, esse piscinão ecológico também não traria os inconvenientes de piscinões convencionais construídos pela prefeitura, como acumulo de lixo ou propagação de ratos.

6. CONCLUSÕES SOBRE O PROJETO

A situação atual do córrego Corveta Camacuã é a mesma encontrada em diversos outros córregos que permeiam o meio urbano, bem como remanescentes de vegetações que sobreviveram à uma rápida e voraz ocupação territorial. O crescimento desordenado, sem um agente estruturador e planejador do meio, proporciona elementos diversos a competirem por espaço, como rios, árvores, casas, cidadãos. Projetos como os propostos neste trabalho surgem para provar que é possível a existência de uma relação harmônica entre esses diferentes, e que essa harmonia impacta positivamente na qualidade de vida dos seres vivos.

Ao caminhar nos entornos do córrego, por dentre os, hoje, pequenos espaços possíveis, facilmente percebe-se os serviços ecossistêmicos que ele já fornece e poderia fornecer, o desenhos das margens erodidas e, ainda, expostas às intempéries, a integração paisagística com as ruas e as casas, o espaço verde do qual alguns moradores se utilizam das margens para cultivar seu jardim, o uso religioso e cultural das encruzilhadas, enfim, o potencial de ganho que a implantação de um parque linear pode gerar para os elementos que compõem esta região da Vila Sônia.

Pensou-se nas diretrizes de um projeto que pudesse ser de fácil implementação e que apresentasse um orçamento aquém do que seria calculado para intervenções convencionais de revitalização de córregos.

Recomenda-se observar a inclinação das margens a fim de garantir que as inclinações superiores tenham faixas de vetiver correspondentes a essa necessidade, diminuindo a instabilidade por conta do declive.

Novos estudos surgem a todo o momento para provarem que o convencional, outrora vangloriado, hoje pode fornecer parâmetros para ideias modernas, soluções integradas, projetos sustentáveis. Caminhamos para um mundo que olha novamente para o meio ambiente e reconhece na natureza, e em suas relações com o ser humano, a qualidade de vida atropelada pelo progresso encabrestado. Pensou-se em como inspirar um projeto que servirá de vetor para novas ideias e novas formas de se pensarem outros novos

projetos. Pensou-se em um projeto que a prefeitura da região poderia, de fato, implementar.

Espera-se que, em breve, diretrizes virem obra e esta seja acolhida pelos moradores, seja executada pelo poder público, sirva de exemplo para novas intervenções, traga harmonia para os moradores e ajude a cidade a ser um ambiente mais acolhedor e vivo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHO, C. J. R. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. *Estud. av.*, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100011&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 2 jun. 2014.

BARBOSA, M. C. R. ; LIMA, H. M. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa , v. 37, n. 1, p. 113-120, Feb. 2013 .Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000100012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 19 de Jun de 2018.

BMIJNZEEL, L. A; WIERSUN, K. F. Rainfall interception by a young *Acacia auriculiformis* (A. Cunn.) plantation forest in West Java, Indonesia: Application of Gash's analytical model. *Hidrology Processes*, v. 1, p. 309-319, 1987.

BRIGHETTI, G; MARTINS, J. R. S. Estabilização e Proteção de Margens. São Paulo: Epusp, 2001. 73 p. **Apostila para disciplina do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária**, PHD -5023 – Obras Fluviais.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Brush Layering. Disponível em <http://www.dot.ca.gov/design/lap/landscape-design/erosion-control/plants/brush_layering.html> Acesso em 20 de outubro de 2017.

Capim Vetiver. Especificações de projeto. Disponível em: <<http://deflor.com.br/produtos-2/capim-vetiver/>>. Acesso em 03 de jun de 2018

COELHO, A. T.; BRITO GALVÃO, T. C. Efeitos da Vegetação na Estabilidade de taludes e Encostas. **Boletim Técnico, Belo Horizonte** - MG. Ano 001, nº 002. 2006.

ERSNT CONSERVATION SEEDS. Ernst Seeds Bioengineering Materials. Disponível em <<https://www.ernstseed.com/products/bioengineering-materials>> Acesso em 23 de outubro de 2017

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP. Córrego Itararé: Subprefeitura Butantã. **Laboratório de Habitação e Assentamentos Humanos - LabHab / FAUUSP**. São Paulo, 115-169 p. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/deprojeto/labhab/biblioteca/produtos/pesquisa_analise_areas-parqueslineares04.pdf>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

GUIMARÃES, E. A. Parques lineares como agenciadores de paisagem: realidades e possibilidades do rio tubarão no contexto urbano de tubarão, sc. **Unifversidade Federal de Santa Catarina** Florianópolis, 2011.

GREENWAY, D. R. Vegetation and slope stability. In: ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K.S. (Ed.). *Slope stability*. John Wiley & Sons 1987, Chiochester, p.187-230.

HERZOG, Cecília Polacow; ROSA, Lourdes Zunino. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 1, p. 92-115, sep. 2010. ISSN 2179-2275. Disponível em:

<<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217>>. Acesso em: 19 june 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115>.

INDIANA GENERAL ASSEMBLY. Bioengineered Materials and Techniques for Public Freshwater Lakes, Rivers, and Streams. Disponível em <<http://www.in.gov/legislative/iac/20120404-ir-312120154nra.xml.html>>. Acesso em 12 denovembro de 2017.

INSTITUTO AGRONÔMICO. Solos do Estado de São Paulo. Apresenta mapas dos solos do estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solossp/>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS BIOENGENHARIA DE SOLOS: Técnicas para recuperar, estabilizar ou restaurar áreas degradadas por processos erosivos. Disponível em <http://www.ipt.br/centro_de_tecnologia_de_recursos_florestais/coluna/19-13-bioengenharia_de_solos.htm> Acesso em 20 de setembro de 2017.

KRUEDENER, A. Ingenieurbiologie. München-Basel: Ernst Reinhardt Verlag. 1951. 172 p.

LEWIS, L. Soil Bioengineering: An Alternative for Roadside Management. 2000. 44 p.

MARCUZZO, F. F. N. Espacialização da precipitação pluviométrica trimestral em São Paulo Capital. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 18., 2017, Santos. Anais... Santos: INPE, 2017. p. 56-63.

MARQUES, T. E. , BAÊTA, H. E., GARCIA, M. P. L., MARTINS, S. V., RODRIGUES, K. A. Crescimento de espécies nativas de cerrado e de vetiveria zizanioides em processos de revegetação de voçorocas. **Ciência Florestal** [en linea] 2014, 24 (Octubre-Diciembre) : [Fecha de consulta: 18 de junio de 2018]

Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53432889005>> ISSN 0103-9954> Acesso em 20 de abril de 2018.

MARTINS, L. A. Avaliação do desempenho das tipologias paisagísticas de drenagem natural da Praça Dolores Ibaruri em São Paulo - SP. **Universidade de São Paulo**. 2012.

MATHIAS, D.T. Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos: córrego tucunzinho (são pedro/ sp). **Universidade Estadual Paulista**, 2011.

MORA, N. M. Experiências de parques lineares no Brasil: espaços multifuncionais com o potencial de oferecer alternativas a problemas de drenagem e águas urbanas. **Banco Interamericano de Desenvolvimento**, 2013. 84 p. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/11766091-Experiencias-de-parques-lineares-no-brasil-espacos-multifuncionais-com-o-potencial-de-oferecer-alternativas-a-problemas-de-drenagem-e-aguas-urbanas.html>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

MOURA, N. C. B., MARTINS, J. R. S. ; PELLEGRINO, P . The Jaguaré Creek Revitalization Project: Transforming São Paulo through a Green Stormwater Infrastructure. **PROCEDIA ENGINEERING**, v. 198, p. 894-906, 2017.

NÓBREGA, R. A. A.; BARROS, M. T. L.; QUINTANILHA, J. A. Emprego de técnicas digitais para a concepção da base cartográfica da bacia hidrográfica do Córrego Cabuçu de Baixo, São Paulo, SP. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 1, 2008.

PEREIRA, A.R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle da erosão. 2006. 150 pg.

PINNERS, P. T. T. V. E., Sistema de aplicação vetiver manual de referência técnica. **Rede Internacional de Vetiver**. Tailândia, 2008. 116 páginas.

PORTAL DO GOVERNO. Governo do estado e prefeitura de sp retomam programa córrego limpo. SP Notícias, São Paulo, 03 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/governo-estado-e-prefeitura-de-sao-paulo-retomam-programa-corrego-limpo/>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

PREFEITURA DE SÃO PAULO: Quadro 7, parques municipais existentes propostos. Disponível em <http://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/PDE_lei_final_aprovada/QUADROS/PDF/PDE2013_SUBST2_Quadro_7_Parques_municipais_existentes_propostos.pdf> Acesso em 20 de setembro de 2017.

PREFEITURA DE SÃO PAULO: Mapa 5, Rede Hídrica Ambiental e Sistema de Áreas Protegidas. Disponível em <http://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/PDE_lei_final_aprovada/MAPAS/MAPAS%20ASSINADOS/Mapa05_Areas_Verdes.pdf> Acesso em 20 de setembro de 2017.

PREFEITURA DE SÃO PAULO: Programa Córrego Limpo. Disponível em <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/planejamento/escola_de_formacao/arquivos/cursos/presenciais/corrego_limpo.pdf>. Acesso em 17 de outubro de 2017.

PREFEITURA DE SÃO PAULO: Obras na Praça Flora Rica, Ciclovia Pirajussara e no córrego Corveta Camacuã estão a todo vapor. Disponível em <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/butanta/noticias/?p=53528>> Acesso em 13 de outubro de 2017.

PROJETO técnico: parques lineares como medidas de manejo de águas pluviais. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland - **Programa**

Soluções para Cidades e FCTH, 2013. 9 p. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Parques%20 Lineares_Web.pdf>. Acesso em 14 de outubro de 2017.

SÃO PAULO. Lei n. 16.608, de 29 de dezembro de 2016. Estima a receita e fixa a despesa do Município de São Paulo para o exercício de 2017. **Diário Oficial Cidade de São Paulo**, São Paulo, 29 de dezembro de 2016.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. Avaliação do Plano Diretor - Departamento de Urbanismo e Secretaria de Desenvolvimento Urbano. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/plano_diretor/revisao-pde-meio-ambiente.pdf>. Acesso em 24 de outubro de 2017.

SÃO PAULO. Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. Mapa dos Remanescentes de Vegetação do Bioma Mata Atlântica no Município de São Paulo. 2016. 1 mapa. Escala: 1:10.000. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/arquivos/PMMA_3315.pdf>. Acesso em 24 de outubro de 2017.

SÃO PAULO. Prefeituras Regionais. Dados demográficos dos distritos pertencentes às Prefeituras Regionais. São Paulo, jan. 2017. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/subprefeituras/dados_demograficos/index.php?p=12758ANEXO>. Acesso em 27 de outubro de 2017.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL). Indicadores. Disponível em:

<<http://observasampa.prefeitura.sp.gov.br/index.php/indicadores/indicadores-por-regiao/>>. Acesso em 27 de outubro de 2017.

SELLES, Ignez Muchelin, et al. Revitalização de Rios – Orientação Técnica. Rio de Janeiro: **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Estado do Rio de Janeiro**, Projeto Planágua SEMADS/GTZ, 2001.

SEPE, P. M; GOMES, S. Indicadores ambientais e gestão urbana: desafios para a construção da sustentabilidade na cidade de São Paulo. São Paulo: **Secretaria Municipal do Verde e do Meio ambiente: Centro de Estudos da Metrópole**, 2008.

SILVA-SÁNCHEZ, S.; JACOBI, P.R. POLÍTICAS DE RECUPERAÇÃO DE RIOS URBANOS NA CIDADE DE SÃO PAULO. Possibilidades e Desafios. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 2, 2012.

SOLERA, M. L. ; GALLARDO, A. L. C. F. ; SOUZA, C. A. ; LONGO, M. H. C. ; BRAGA, T. O. . Bioengenharia de solos: aplicabilidade na recuperação de áreas mineradas e na oferta de serviços ambientais. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 34, p. 46-59, 2014.

SOTIR, R. B.; GRAY, D. H: Fill slope repair using soil bioengineering systems. In: INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION. Methods and techniques for stabilizing steep slopes. Stremboat Springs. CO: **International Erosion Control Association**. 1997. p. 413-425.

SOUSA, V. V. C. ; GALLARDO, A. L. C. F. Fracalanza, A.P. ; RUIZ, M. S. . Pagamento por serviços ambientais de recursos hídricos em áreas urbanas: perspectivas a partir de um programa de recuperação da qualidade de água na

cidade de São Paulo. **CADERNOS METRÓPOLE**, 2018.no prelo (previsto para volume 42)

TOMAZ, PLINIO Capítulo 50 - Fórmula de Manning em Galerias e Canais. Disponivel em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo_50_formula_de_manning_galerias_e_canais.pdf>. Acesso em 03 de jun de 2018.