



PROJETO BÁSICO-EXECUTIVO DE ENGENHARIA NATURAL | REVITALIZAÇÃO DO CÓRREGO ÁGUA DO SOBRADO NO MUNICÍPIO DE BAURU, SP

**PROGRAMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL E REVITALIZAÇÃO
DE RIOS URBANOS PARA A UGRHI 13**



Santa Maria, Outubro de 2024

SUMÁRIO

IDENTIFICAÇÃO	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO	8
3.1 Descrição geral da área de intervenção	8
3.2 Fenomenologia dos processos erosivos	13
3.2 Ensaios de solo	18
4. DIMENSIONAMENTO DA TIPOLOGIA CONSTRUTIVA	21
4.1 Estudo hidrológico e hidráulico	21
4.2 Criticidade e evolução	29
4.3 Intervenções recomendadas	30
5. SERVIÇOS	33
5.1 Serviços iniciais	33
5.1.1 Acesso às áreas de intervenção	33
5.1.2 Demarcação das áreas de intervenção	34
5.1.3 Remoção de vegetação instável e exótica	34
5.1.4 Limpeza do eixo da torrente	34
5.1.5 Terraplenagem	35
5.1.6 Cuidados com o material vegetal	36
5.1.7 Controle de formigas cortadeiras	36
5.2. Técnicas de Engenharia Natural	36
5.2.1 Enrocamento	37
5.2.2 Soleiras	38
5.2.3 Enrocamento vivo	39
5.2.4 Muro de suporte vivo parede dupla	40
5.2.5 Plantio de mudas arbustivas	43
5.2.6 Plantio de mudas herbáceas	44
5.2.7 Plantio de mudas arbóreas	45
5.2.8 Semeadura	46
5.3 Serviços finais	47
6. PRODUÇÃO DE MUDAS	47
7. MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO	51

7.1 Monitoramento	51
7.2. Manutenção	51
8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	52
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
10. RELAÇÃO DE DOCUMENTOS	54
11. BIBLIOGRAFIA	55
ANEXO I	58
ANEXO II	61
ANEXO III	64
ANEXO IV	67

PROJETO



Equipe Técnica

Rita S. SOUSA

Junior J. DEWES

TOMADOR



FINANCIAMENTO



AGENTE TÉCNICO



IDENTIFICAÇÃO

PROJETO	Programa de drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos para a UGRHI 13
DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	Serviço Técnico de Projeto Executivo de Revitalização e Renaturalização de Rio
CÓDIGO FEHIDRO	2020-TJ-COB-71
CONTRATO FEHIDRO	255/2020
TOTAL DE HORAS	650 horas
CONTRATANTE	Associação Instituto Cultural Janela Aberta
PRESTADORA DE SERVIÇO	VALLIS ENGENHARIA & AMBIENTE LTDA CNPJ: 31.473.202/0001-84
ENDEREÇO	Rua Cristalino Machado Soares, 311, 401, Camobi, 97110-210 Santa Maria - RS
EQUIPE TÉCNICA	Rita S. SOUSA - Engenheira Biofísica, M.Sc., Dra. Eng. Florestal CREA RS241478 Junior J. DEWES - Engenheiro Florestal, M.Sc. Dr. Eng. Florestal CREA RS238311

1. INTRODUÇÃO

A partir da Deliberação CBH-TJ 13/2019, publicada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13), foi aprovado o Termo de Referência para o Projeto de Demanda Induzida *Programa de drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos para a UGRHI 13*. Seguindo esta orientação, foi submetido ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré pela Associação Instituto Cultural Janela Aberta de São Carlos, um projeto de mesmo título, Termo de Referência, Planilha Orçamentária, Cronograma Físico-Financeiro e demais documentos para pleitear o recurso do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) para sua execução. O empreendimento foi aprovado sob código 2020-TJ-COB-71 e encontra-se em fase de execução. O projeto prevê a realização de diversas metas e atividades, sendo a Atividade 9 composta pela Elaboração de dois Projetos Piloto: Projeto executivo de Drenagem Sustentável e Projeto Executivo de Revitalização de Curso d'água urbano, ambos a serem realizados em cidades da UGRHI 13.

Este documento apresenta o projeto básico-executivo de Engenharia Natural para revitalização de dois trechos urbanos do Córrego Água do Sobrado no Município de Bauru, no âmbito do contrato 13/2021: *Serviço Técnico de Projeto Executivo de Revitalização e Renaturalização de Rio*, firmado entre a Associação Instituto Cultural Janela Aberta e a Vallis Engenharia & Ambiente Ltda.

Tradicionalmente os processos erosivos em cursos de água são tratados com técnicas tradicionais da Engenharia Civil, como gabiões, muros de arrimo em concreto, sacos de solo cimento, entre outras soluções técnicas (DEWES; SOUSA; SUTILI, 2018; KETTENHUBER et al., 2023). Alternativamente podem ser utilizadas técnicas de baixo impacto ambiental como soluções baseadas na natureza que privilegiam o papel técnico da vegetação como elemento construtivo vivo capaz de alterar as características hidráulicas do meio e as propriedades de engenharia do solo (SOUSA et al., 2020; SOUSA; SUTILI, 2017). Neste sentido, a abordagem técnica escolhida para este projeto será baseada em soluções construtivas de Engenharia Natural, que preconizam a utilização de materiais construtivos naturais e espécies reófitas autóctones, que além de solução técnica para controle dos processos erosivos e revitalização do local representem uma escolha adequada do ponto de vista ambiental, estético e paisagístico.

Neste contexto, a Engenharia Natural pode ser definida como um subdomínio da Engenharia que tem objetivos técnicos, ecológicos, construtivos e econômicos, recorrendo principalmente à utilização de materiais construtivos vivos, que podem ser combinados com materiais inertes.

Pode ser utilizada como substituto, mas principalmente como complemento útil e necessário às técnicas clássicas de Engenharia Civil (SCHIECHTL, 1980). As técnicas de Engenharia Natural podem ser aplicadas na solução de problemas de instabilidade geotécnica e hidráulica e controle de processos erosivos superficiais. Para isso, as soluções envolvem o projeto de ecossistemas em equilíbrio dinâmico (SOUSA, 2015).

Devido à utilização da vegetação, estas técnicas apresentam deformabilidade e elevada capacidade de regeneração das partes danificadas (FERNANDES; FREITAS, 2011; SOUSA; SUTILI, 2017). Além disso, a sua funcionalidade e eficiência técnica é crescente com o passar do tempo, porque à medida que as técnicas adquirem maturidade, a vegetação continua a desenvolver-se, aumentando os efeitos técnicos de proteção e estabilização do solo (SOUSA; SUTILI, 2017).

Este projeto visa apresentar as soluções técnicas especificadas para proteção, estabilização e revitalização de dois trechos do Córrego Água do Sobrado localizado na área urbana do município de Bauru, no estado de São Paulo.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste projeto básico-executivo são:

- Descrever a fenomenologia dos processos erosivos que ocorrem no Córrego Água do Sobrado nos trechos de intervenção;
- Apresentar os dimensionamentos hidrológicos e hidráulicos para os trechos de estudo (considerando o cenário atual e pós-obra);
- Especificar e descrever executivamente as soluções técnicas de Engenharia Natural para proteção e estabilização das margens e fundo do canal;
- Apresentar as espécies vegetais autóctones que serão utilizadas nas intervenções;
- Definir o cronograma de execução;
- Apresentar as medidas de manutenção e monitoramento;
- Quantificar os materiais e insumos que serão utilizados nas intervenções;
- Apresentar o orçamento para a execução da obra;
- Apresentar os desenhos técnicos com a localização das técnicas e os detalhes executivos.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

3.1 Descrição geral da área de intervenção

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré – UGRHI 13 está localizada na região central do Estado de São Paulo e abrange 34 municípios. Está limitada a norte e oeste com a UGRHI Tietê/Batalha (UGRHI 16), a leste e sudeste com a UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí (UGRHI 5), a sul com as UGRHI's Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10), e a nordeste com a UGRHI Mogi-Guaçu (UGRHI 9), conforme representado na Figura 1 (SIGRH, 2024).

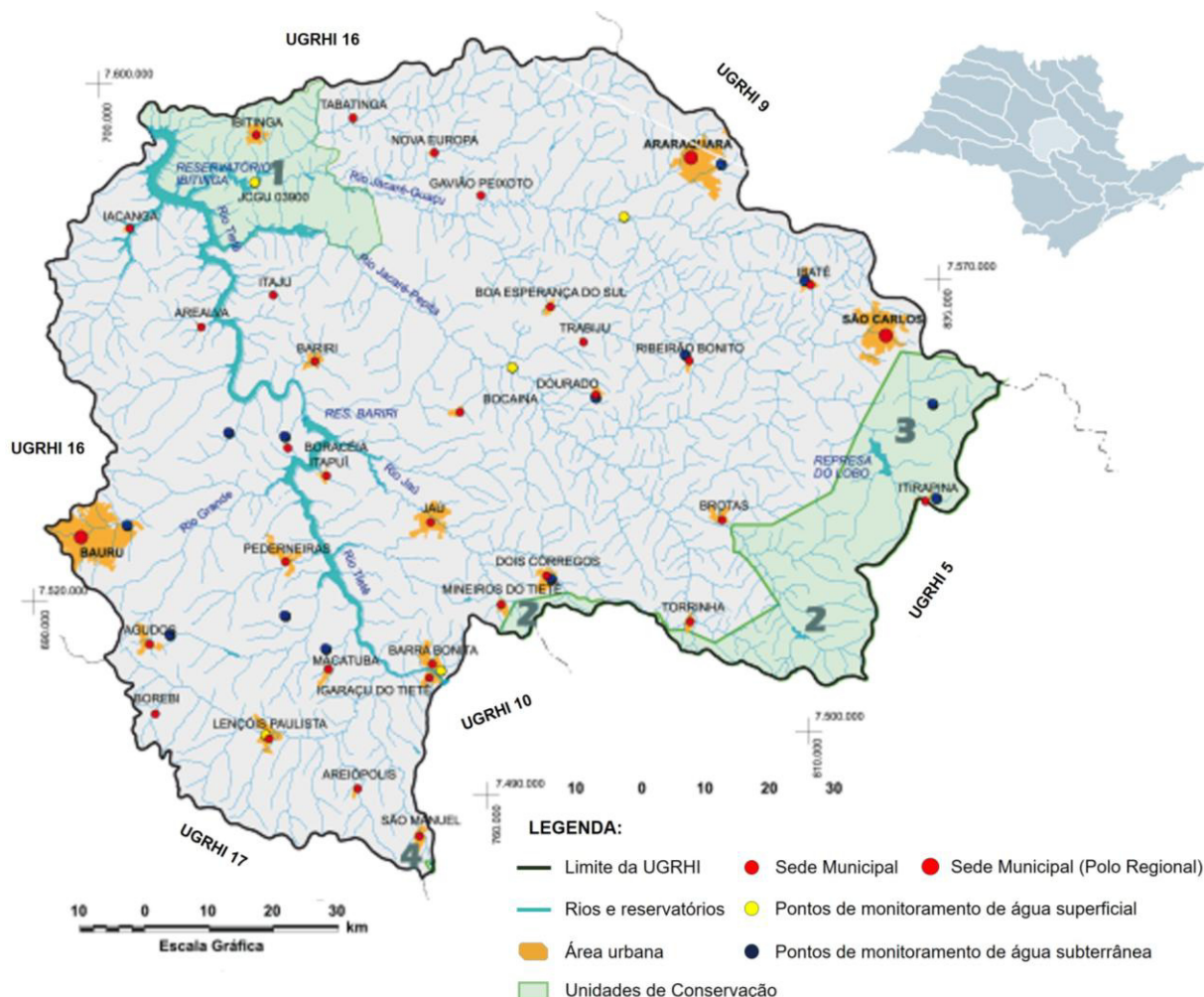


Figura 1. Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré com representação da rede de drenagem e dos 34 municípios integrantes. Fonte: SIGRH, 2024.

A UGRHI 13 tem uma área total de drenagem de 11.749 km² e 1.718.433 habitantes. É constituída por 6 sub-bacias hidrográficas, nomeadamente Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira, Jaú, Lençóis, Bauru e Rio Claro. A rede de drenagem apresenta 8.686,42 km de extensão, sendo os principais cursos de água da bacia hidrográfica os rios Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira (CBH-TJ, 2016).

A bacia hidrográfica apresenta 1.106 km² de vegetação natural remanescente que ocupa aproximadamente 9% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência são a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana (CBH-TJ, 2016).

O município de Bauru tem uma área total de 667,684 km² (IBGE, 2022). O município possui histórico de intensos problemas de inundação, processos erosivos e de assoreamento dos corpos d'água em toda a extensão do território. A área urbana é interceptada pelo Rio Bauru e seus afluentes, impactados direta ou indiretamente pelo processo de urbanização, conforme levantamento executado pela equipe técnica do PDSRR e apresentado no Relatório Parcial de 2023.

O território de Bauru está inserido em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos distintos: na bacia hidrográfica Tietê - Batalha (UGRHI 16) e na bacia hidrográfica Tietê - Jacaré (UGRHI 13), onde se localiza o rio Bauru, o córrego Campo Novo, bem como o córrego Água do Sobrado, entre outros (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU, 2008).

Em termos geológicos, a área de estudo está localizada na formação Marília - Grupo Bauru (K2m) (CBH-TJ, 2016). A Formação Marília é subdividida em três membros, sendo que os membros Serra da Galga e Ponte Alta não ocorrem no estado de São Paulo. O membro Echaporã ocorre na região de estudo, correspondendo à definição original da formação. Este membro tem contatos graduais e interdigitados com a Formação Vale do Rio do Peixe (K2vp) e localmente faz contatos diretos com a Formação Serra Geral (K1βsg) (FERNANDES; COIMBRA, 2000; PERROTTA; SALVADOR, 2005). É composto por arenito grosso a fino, imaturo, amarelo e vermelho, conglomerático com clastos arenosos e de calcário fino; arenito fino a médio, imaturo, com fração subordinada de areia grossa e grânulos; ambiente continental desértico, leque aluvial médio a distal (PERROTTA; SALVADOR, 2005).

Do ponto de vista geomorfológico, o relevo na região de Bauru apresenta um predomínio de colinas amplas ocupando de forma geral as porções mais elevadas do platô de Bauru, e parcialmente, as porções mais baixas da Bacia do Rio Batalha, constituindo-se em relevos de transição, junto às bordas do platô (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU, 2008).

Os solos predominantes no município de Bauru são bem desenvolvidos, com alteração pronunciada dos minerais primários, característicos de clima quente e úmido. Maioritariamente ocorrem Latossolos Vermelho Escuro com textura média e Podzólicos Vermelho com textura arenosa média (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU, 2008). Nas proximidades da área de intervenção predominam os Latossolos Vermelho Escuro que correspondem a solos minerais não hidromórficos profundos, com horizonte B latossólico de coloração vermelha (CAMARGO; KLANT; KAUFMAN, 1987). A textura média deve-se ao material de origem, que são os arenitos pertencentes à Formação Marília e Adamantina, sendo que estes solos encontram-se em áreas de relevo constituído por colinas amplas ou em topos aplainados das colinas médias. Especificamente, no sistema de relevo de coberturas amplas, a cobertura latossólica ocupa praticamente toda a vertente, desde o seu topo até a sua porção inferior próxima ao fundo de vale (SALOMÃO, 1994). São solos espessos, porosos e bem drenados, bastante homogêneos, que facilitam a absorção e circulação das águas pluviais, atenuando o escoamento superficial e, consequentemente, a formação de erosões que ocorrem quando induzidas pela ação antrópica (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU, 2008).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região de estudo é Cwa Subtropical com invernos secos com temperaturas inferiores a 18°C, e verões quentes com temperaturas acima dos 22°C (ALVARES et al., 2013).

Na região de estudo ocorrem precipitações intensas de curta duração, tipicamente tropicais. O período chuvoso ocorre nos meses de primavera e verão e o período de estiagem no outono e inverno (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU, 2008).

Na Figura 2 estão representadas as precipitações anuais entre 2002 e 2023 da estação A705 do INMET (INMET, 2024). Considerando a série histórica analisada (foram desconsiderados os 6 anos representados com barras vermelhas devido à falta de dados de precipitação). A precipitação máxima anual é de 1619,8 mm (2007) e a precipitação mínima anual é de 961,4 mm (2021). A média anual considerando 16 anos de série histórica é de 1240,6 mm.

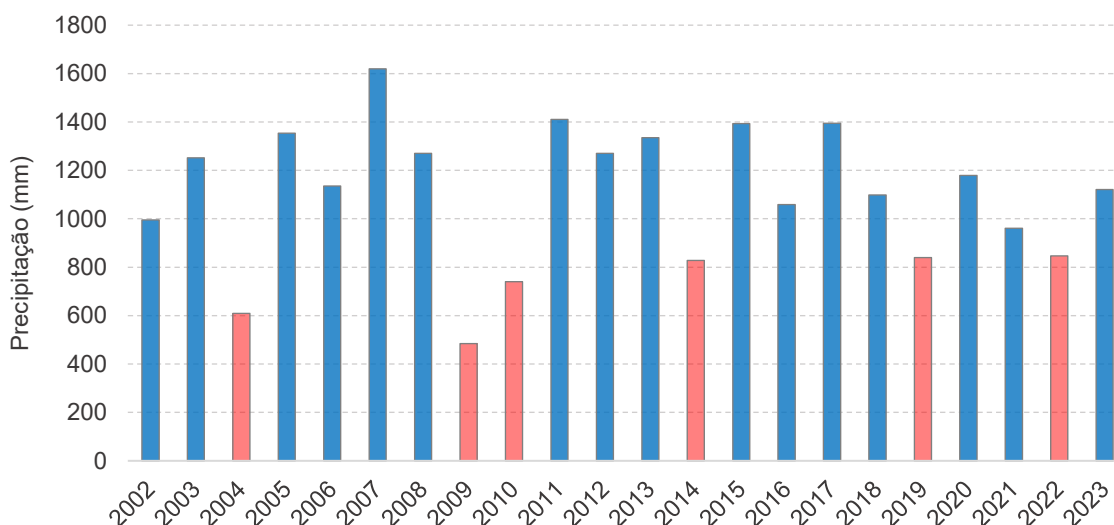


Figura 2. Precipitação anual considerando a série histórica de 22 anos entre 2002 e 2023 (INMET, 2024). As barras azuis representam anos com dados completos e, a vermelho, anos com dados incompletos.

As principais unidades fitogeográficas que ocorrem no município de Bauru são as formações de Floresta Estacional Semidecidual e de Cerrado, além das zonas de contato entre esses dois domínios especialmente na porção sudeste do município. O município apresenta acelerada degradação das formações florestais nas últimas décadas devido à expansão das fronteiras agrícolas e ao crescimento da infraestrutura e áreas urbanizadas (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU, 2008). Nas Áreas de Preservação Permanente (APP's) ocorrem maciços de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, comumente denominada por leucena. A leucena é uma espécie exótica que foi introduzida no Brasil devido ao seu alto potencial forrageiro. É nativa de regiões semiáridas da América Central e apresenta rápido desenvolvimento e altas taxas de reprodução (REFLORA, 2024). Estas características conferem-lhe um carácter invasor agressivo em relação às espécies autóctones da mata ciliar causando perda de biodiversidade e homogeneização da flora.

O córrego Água do Sobrado tem um comprimento de aproximadamente 4,50 km, é um afluente direto do Rio Bauru, estando localizado na sub-bacia do Rio Bauru que tem uma área de drenagem total de 826,8 km² e que corresponde a 7,0% da bacia do Tietê-Jacaré. Os dois trechos de intervenção estão localizados no segmento final do Córrego Água do Sobrado, conforme representado na Figura 3. O trecho 1 tem 50,0 m de comprimento e o trecho 2 tem 106,0 m de comprimento. Os trechos estão localizados em área urbana densamente ocupada e apresentam processos erosivos conforme será descrito no próximo item.



Figura 3. Localização dos trechos de intervenção no Córrego Água do Sobrado no município de Bauru. Os trechos de intervenção estão marcados a azul. Desenho sem escala.

A microbacia do Córrego Água do Sobrado tem uma área de contribuição de aproximadamente 6,5 km² e encontra-se integralmente na área urbana, sendo o trecho de montante o limite da urbanização. O curso de água encontra-se aberto, em leito natural, exceto nos trechos de travessias e maioritariamente da Área de Preservação Permanente do córrego não tem ocupação. No levantamento de campo verificou-se a presença de diversos pontos de erosão ao longo e no entorno do curso d'água, incluindo ravinas e voçorocas. Complementarmente, foram identificados vários locais de disposição e descarte irregular de resíduos, inclusive no interior de sulcos, ravinas e voçorocas. Na nascente do córrego foi identificada uma voçoroca ativa, onde é realizado o descarte de resíduos. De acordo com relatos dos moradores neste local, há alagamentos durante eventos de chuvas intensas em decorrência do volume de água que escoas das áreas à montante e da ausência de sistema de drenagem pluvial. Além disso também foi identificada uma voçoroca antiga, porém estabilizada a partir do preenchimento das feições, onde atualmente há vegetação exótica densa com diversos pontos de descarte irregular de resíduos (RSU e RCC).

De forma geral, em todas as travessias há estrangulamento do córrego e obstrução parcial das passagens hidráulicas por vegetação e resíduos que prejudicam o fluxo de água. À montante de uma das travessias o córrego é canalizado numa extensão de cerca de 30,0 m.

Em muitos trechos do córrego verificou-se a presença de pontos de assoreamento do leito, inclusive no ponto de confluência com o rio Bauru.

3.2 Fenomenologia dos processos erosivos

O trecho 1 tem 50,0 m de comprimento e está localizado na parte final de um segmento com 600,0 m localizado entre travessias (entre a Rua Mara L. Vieira e a Rua Cuba). Na margem esquerda (sentido montante-jusante) existe um banco de sedimento ao longo de toda a extensão de intervenção (50,0 m) com largura de cerca de 4,0 m (Figura 4). O banco de sedimento e a margem esquerda estão revestidos superficialmente com vegetação herbácea e não foi detectada a presença de sulcos erosivos ou movimentos de massa no talude. Neste trecho o curso de água apresenta uma ligeira curvatura, o que promove a deposição de sedimentos na margem esquerda que se localiza no raio interno da curva (área de deposição de solo).

Já na margem direita ocorrem processos erosivos que são agravados pelo desvio do fluxo de água para o talude que está localizado no raio externo do rio. O banco de sedimento também contribui para o desvio do eixo da torrente, fazendo com que o fluxo de água colida com a margem direita. Além disso, as curvas causam resistência adicional ao fluxo de água, o que faz com que o eixo do curso de água e consequentemente a região de maior velocidade de fluxo se desloquem por força inercial para o raio externo (zona de erosão), ocorrendo perda de velocidade no raio interno (zona de deposição). Acompanhando o eixo do curso de água está a maior força erosiva e de transporte. O deslocamento do potencial de erosão e da capacidade de transporte, do centro para o raio externo da curva, causa a remoção do solo da base da margem, o aprofundamento do leito neste ponto e, consequentemente, o desconfinamento do talude.

O talude da margem direita é caracterizado por apresentar altura de cerca de 4,50 m e inclinação média de 45°. Também existem árvores de grande porte no topo do talude e vegetação herbácea que cobre superficialmente o solo (Figura 4). A presença de árvores de grande porte em margens fluviais é crítica uma vez que causa sobrecarga, além de transmitir cargas instáveis que podem criar um efeito alavanca contribuindo para a instabilização geotécnica do talude. Esta sobrecarga poderá ser potencializada caso ocorram novos desconfinamentos do talude devido à remoção do solo da base por ação do fluxo de água.



Figura 4. Trecho 1 – Vista para montante com destaque para o banco de sedimentos depositado na margem esquerda (à esquerda) e vista para jusante (à direita). Fotografias: Vallis E&A, 2024.

Na Figura 5 pode observar-se que na margem direita ocorreu remoção do solo na parte posterior do muro ala da passagem hidráulica, devido ao desvio do eixo do fluxo para a margem direita e consequentemente ocorrência de turbilhonamento do fluxo junto ao muro ala direita, principalmente em eventos de maior precipitação. A remoção contínua do solo originou um processo erosivo grave que apresenta tendência de evolução, colocando em risco a infraestrutura (passagem hidráulica, drenagem, calçada e rodovia) e a segurança dos pedestres.



Figura 5. Margem direita do Trecho 1 com processo erosivo e remoção de solo na parte posterior do muro ala (à esquerda) e vista geral do córrego na parte final do trecho com banco de sedimentos à esquerda e erosão no raio externo na margem direita (à direita). Fotografias: Vallis E&A, 2024.

O trecho 2 tem 105,0 m de comprimento e está localizado entre duas travessias (entre a Avenida Italiana R. Bertolucci e a Rua Ver. Antônio Ferreira Menezes). À montante do trecho 2 existe um trecho canalizado onde se verificou a obstrução parcial da passagem hidráulica com galharias e resíduos que causaram a deposição de sedimentos (espessura aproximada de 0,80 m) oriundos de processos erosivos nas margens e fundo do Córrego Água do Sobrado à montante, conforme se pode observar na Figura 6.

No histórico fotográfico do trecho 2 observou-se que o córrego apresentava-se relativamente retificado e sem presença de vegetação nas APP's (2004). Nos anos seguintes, devido à falta de proteção das margens, o córrego sofreu processos erosivos que causaram movimentos de massa e alargamento da calha e simultaneamente ocorreram processos de deposição de sedimentos nas margens provenientes de montante. Esses processos causaram um deslocamento do eixo da torrente e o córrego adquiriu um traçado mais curvilíneo.



Figura 6. Trecho canalizado à montante do Trecho 2 com obstrução da passagem hidráulica e consequente deposição de sedimento oriundo de processos erosivos nas margens e fundo do Córrego Água do Sobrado. Fotografias: Vallis E&A, 2024.

Atualmente o trecho 2 apresenta as duas margens com processos erosivos e deposicionais. Na Figura 7 e na Figura 8 podem observar-se vários pontos nas duas margens com processos erosivos, nomeadamente movimentos de massa devido ao desconfinamento da base dos taludes, ravinas por ausência de sistemas de drenagem nas áreas adjacentes e árvores instáveis no topo dos taludes que causam sobrecarga.



Figura 7. Trecho 2 – Vista para montante com destaque para o banco de sedimentos depositado na margem direita (à esquerda) e vista para jusante com deposição de pedra e RCC na margem esquerda (à direita). Fotografias: Vallis E&A, 2024.

Além disso, verificou-se a presença de diversos pontos com bancos de sedimentos e deposição de pedra e resíduos da construção civil (RCC), que redirecionam o fluxo de água para as margens (raio externo) agravando ainda mais as condições de estabilidade nos taludes.

O deslocamento do eixo da torrente também causou perda de área dos proprietários lindeiros localizados na margem esquerda, que pontualmente executaram movimentações de solo para aterro e retaludamento das margens previamente erodidas pelo fluxo de água. No entanto, essas medidas de tratamento não se mostraram eficazes na estabilização dos taludes.



Figura 8. Trecho 2 – Características dos processos de erosão e deposição na margem esquerda (fotografias à esquerda) e na margem direita (fotografias à direita). Fotografias: Vallis E&A, 2024.

Na Figura 9 observa-se erosão nas laterais da passagem hidráulica de montante possivelmente causados por turbilhonamento do fluxo em eventos de maior vazão que também causaram *scour* (escavação) do fundo do leito na saída da galeria.



Figura 9. Trecho 2 – Vista para montante com destaque para os processos erosivos nas laterais da passagem hidráulica (à esquerda) e vista para jusante (à direita). Fotografias: Vallis E&A, 2024.

De forma geral, as características climáticas da região de Bauru, nomeadamente os aspectos pluviométricos caracterizados pela ocorrência de eventos com precipitações intensas, combinados com os atributos de constituição do solo e cobertura vegetal, favorecem a ocorrência de processos erosivos, especialmente em margens de cursos de água. O substrato geológico também condiciona fortemente os processos erosivos devido à ocorrência de solos arenosos, de baixa resistência mecânica e altamente suscetíveis à erosão. Estas condições naturais são agravadas pela pressão antrópica de uso e ocupação dos solos inerentes às áreas urbanas, ausência ou ineficiência de sistemas de drenagem e estrangulamento dos rios devido à implantação de travessias (passagens hidráulicas).

3.2 Ensaios de solo

Foram realizados ensaios químicos e físicos de solos nas duas áreas de intervenção. Os pontos de coleta estão representados no Desenho 1 (Trecho 1) e no Desenho 5 (Trecho 2).

A análise química é importante para o reconhecimento das condições nutricionais do solo, gerando subsídios para correções de fertilidade e acidez. Para a análise química, em cada área, foram coletadas duas subamostras deformadas de solo para compor uma amostra composta. Para tal foi coletado dentro de cada área duas subamostras de solo num total de aproximadamente 500 g por subamostra. As subamostras de solo foram coletadas na camada entre 20 e 30 cm de profundidade utilizando pá de corte. As subamostras de cada área foram colocadas em um recipiente limpo, e homogeneizadas manualmente. Em seguida foi obtida

uma amostra de aproximadamente 500 g de solo a partir da amostra homogeneizada e acondicionada em uma sacola plástica devidamente identificada com o nome da área onde o material foi coletado. O volume de solo homogeneizado restante no recipiente foi descartado.

Posteriormente as amostras foram direcionadas ao laboratório especializado responsável pelas análises. Foi realizada a análise química completa, incluindo pH, CTC, M.O., micronutrientes e macronutrientes, conforme apresentado no Anexo IV - Laudo de Análise de Solo. Na Tabela 1 são apresentados os resultados de pH, matéria orgânica e índice SMP para as amostras de solo testadas.

Tabela 1. Valores de pH, matéria orgânica e SMP para os trechos amostrados.

Trecho	Amostra	pH	MO (%)	Índice SMP
1	Amostra 1/2	6,3	0,6	7,3
2	Amostra 3/4	6,9	0,4	7,4

Pelos resultados das análises químicas verificou-se que o pH é alto e a matéria orgânica é baixa. Conforme o resultado do índice SMP verificou-se que não é necessário proceder à calagem do solo. Deverá, no entanto, ser incorporada matéria orgânica ao solo durante os procedimentos de plantio.

Também foram realizados ensaios físicos dos solos para análise de textura dos solos presentes nas áreas de intervenção. Em cada trecho foram coletadas amostras, a uma profundidade de 20 a 30 cm, nos dois pontos representados no Desenho 1 (Trecho 1) e no Desenho 5 (Trecho 2). Para cada ponto foram coletadas duas amostras indeformadas de solo por meio de anéis de cravação para determinação do peso específico natural conforme NBR 9813/2016. Também foram coletadas amostras deformadas para análise granulométrica utilizando o método da Pipeta (EMBRAPA, 2017), umidade natural conforme NBR 6457/86 e densidade de partículas conforme GEE; BAUDER, 1986.

Posteriormente as amostras foram direcionadas ao laboratório especializado responsável pelas análises e emitido o Laudo de Análise Física, conforme Anexo IV.

Na Tabela 2 são apresentadas as frações granulométricas para cada amostra de solo testada. Verificou-se nas análises granulométricas que o solo do trecho 1 é constituído por textura franco arenosa e areia franca e no trecho 2 é constituído por textura arenosa.

Tabela 2. Resultados das análises granulométricas de solo.

Trecho	Amostra	Distribuição do tamanho de partículas				Classe textural
		Argila (< 0,002 mm)	Silte (0,05-0,002 mm)	Areia fina (0,2-0,05 mm)	Areia grossa (2-0,2 mm)	
1	1	13,8%	8,5%	73,1%	4,6%	Franco Arenosa
	2	7%	6,2%	79,8%	7%	Areia Franca
2	3	3,5%	3,3%	57,5%	35,6%	Areia
	4	3,5%	3,8%	75,6%	17%	Areia

Na Figura 10 está representado o diagrama textural com as respectivas classes adotadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) com a classificação das amostras nas classes texturais considerando as percentagens médias de areia, silte e argila resultantes da análise granulométrica.

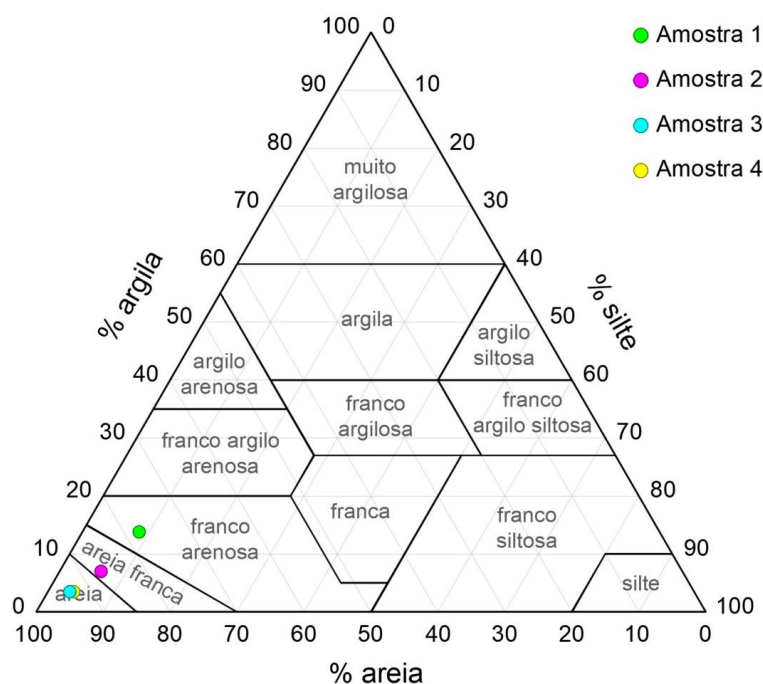


Figura 10. Diagrama textural com a representação das 13 classes texturais adotadas pela SBCS e a respectiva classificação das amostras de solo com base nas frações granulométricas obtidas nos ensaios.

A caracterização granulométrica do solo nos trechos de intervenção corrobora a baixa coesão e resistência mecânica do solo à ocorrência de processos erosivos devido à ação do fluxo de água.

4. DIMENSIONAMENTO DA TIPOLOGIA CONSTRUTIVA

4.1 Estudo hidrológico e hidráulico

De forma a elaborar o dimensionamento das tipologias construtivas foi realizado o estudo hidrológico e hidráulico das bacias de contribuição para determinação da precipitação e vazão de projeto, fornecendo subsídios e critérios técnicos para a elaboração deste projeto. As bacias foram denominadas: bacia 1 (bacia de montante correspondente ao trecho 1) e bacia 2 (bacia a jusante correspondente ao trecho 2). A localização das seções de controle (SC) de cada uma das bacias está representada na Figura 11. Para caracterizar as bacias hidrográficas foi realizada a delimitação das áreas de contribuição e determinação das características da cobertura do solo. Os dados adotados se referem ao cenário conservador (mais crítico). As bacias de contribuição estão representadas na Figura 11.

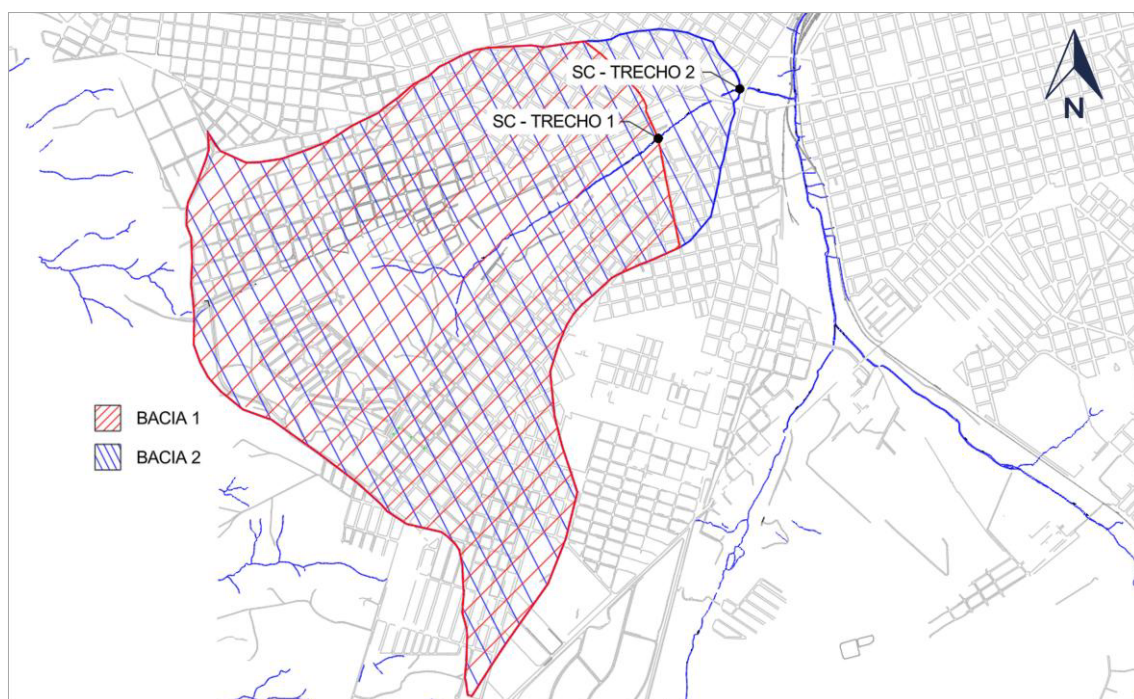


Figura 11. Delimitação das bacias de contribuição a partir da seção de controle (SC). Desenho sem escala.

O coeficiente de compacidade (K_c), também conhecido como índice de Gravelius, relaciona a forma da bacia com a área de um círculo. Esse coeficiente é adimensional e varia com a forma da bacia, independente do seu tamanho (VILLELA; MATTOS, 1975). Conforme Cardoso (2006), quanto mais irregular for uma bacia, maior será o seu coeficiente de

compacidade, ou seja, um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1.

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Em que A é a área da bacia (km²) e P o perímetro da bacia (km).

O fator de forma (Kf) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). Este índice é um indicativo para a maior ou menor probabilidade de enchente em uma bacia. Uma bacia com fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, mas que tenha um fator de forma superior.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Onde A é a área da bacia (km²) e L o comprimento do talvegue (km).

O tempo de concentração (tc) é o tempo necessário para que, a partir do início de uma chuva, toda a bacia de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada (seção de controle). Pode ser definido através de diversas equações que consideram as características físicas da bacia. Para este estudo, o tempo de concentração foi calculado considerando a fórmula de Kirpich (PINTO et al., 2008):

$$tc = 57 \left(\frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385}$$

Em que tc é o tempo de concentração (min), L o comprimento do talvegue (km) e Ieq é a declividade equivalente (m/km).

A declividade equivalente é resultado da expressão (DAEE, 2005):

$$I_{eq} = \left(\frac{L}{\sum \frac{L_n}{\sqrt{j_n}}} \right)^2 \quad j_n = \frac{\Delta h_n}{L_n}$$

Em que Ieq é a declividade equivalente (m/km), L o comprimento total do talvegue (km), Ln é o comprimento para cada trecho do talvegue (km), jn é a declividade de cada trecho n (m/km) e Δhn é a variação da altura no trecho.

Para determinar a intensidade da chuva de projeto foi utilizada a equação IDF do município de Bauru (DAE, 2014):

$$i = 35,4487 (t + 20)^{-0,8894} + 5,9664 (t + 20)^{-0,7749} \cdot [-0,4772 - 0,9010 \ln \ln(T/T - 1)]$$

Onde i é a intensidade da chuva (mm/min), T é o tempo de retorno (anos) e t é o tempo de concentração (min).

Para determinar a vazão de projeto foi utilizado o Método I-PAI-WU, que é um aprimoramento do método racional que pode ser utilizado em bacias de contribuição com áreas até 200 km² (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 1999):

$$Q = 0,278 C i A^{0,9} K$$

Em que Q é a vazão de projeto (m³/s), C é o coeficiente de escoamento superficial corrigido pela forma da bacia, i é a intensidade da chuva de projeto (mm/h), A é a área da bacia hidrográfica (km²) e K é o coeficiente de distribuição espacial da chuva (tabelado).

Para correção do coeficiente de escoamento superficial são utilizadas as seguintes equações:

$$C = \frac{2}{1 + F} \times \frac{C_2}{C_1} \qquad C_1 = \frac{4}{2 + F} \qquad F = \frac{L}{2 \times \sqrt{\frac{A}{\pi}}}$$

Onde F é o coeficiente de circularidade adimensional, L é o comprimento do talvegue (km) e A é a área da bacia hidrográfica (km²).

Já o C_2 é um coeficiente tabelado e depende da cobertura e do uso do solo da bacia de contribuição. Adotou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,15 (áreas verdes) e 0,85 (áreas urbanizadas com prédios, ruas, calçadas, estacionamentos), resultando num coeficiente de escoamento ponderado de 0,74 para as duas bacias hidrográficas.

As condições hidráulicas do canal na seção de controle podem ser verificadas utilizando-se a equação de Manning, que é um desenvolvimento empírico para determinação do coeficiente de rugosidade da equação de escoamento analítica de Chézy, relacionando-o ao raio hidráulico da seção, e pode ser escrita como (SARDINHA; MACEDO, 1981):

$$Q = v A_m = \frac{1}{n} I^{1/2} R_h^{2/3} A_m$$

Em que Q é a vazão admissível (m^3/s), v é a velocidade do fluxo (m/s), n é o coeficiente de rugosidade de Manning, R_h é o raio hidráulico (m), I é a inclinação do leito (m/m) e A_m é a área molhada da seção transversal (m^2).

O raio hidráulico é calculado como (DURLO; SUTILI, 2014):

$$Rh = \frac{A_m}{P_m}$$

Onde R_h é o raio hidráulico (m), A_m é a área molhada da seção transversal (m^2) e P_m é o perímetro molhado.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos para as bacias de contribuição.

Tabela 3. Parâmetros obtidos para as bacias hidrográficas de estudo.

Parâmetros	Bacia 1	Bacia 2
Área de contribuição (km^2)	5,82	6,34
Perímetro da bacia (km)	11,20	11,95
Comprimento do talvegue (km)	3,87	4,43
Desnível do talvegue (m)	94,0	100,0
Declividade equivalente da bacia (m/km)	17,93	16,62
Coeficiente de compacidade	1,30	1,33
Fator de forma	0,39	0,32
Coeficiente de circularidade (F)	1,42	1,56
Coeficiente de escoamento superficial (C_1)	1,17	1,12
Coeficiente de escoamento superficial (C_2)	0,74	0,74
Coeficiente de escoamento superficial corrigido (C)	0,52	0,51
Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K)	0,98	0,98
Tempo de concentração (min)	53,1	60,8
Tempo de retorno (anos)	50	50
Intensidade pluviométrica (mm/h)	85,83	78,96
Vazão de projeto (m^3/s)	59,7	58,2

Portanto, para um tempo de retorno de 50 anos e para uma chuva de projeto obteve-se uma vazão de projeto esperada na seção de controle de $59,7 \text{ m}^3/\text{s}$ para a bacia de contribuição 1 e $58,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para a bacia 2. A partir da vazão de projeto e da geometria atual do canal obtida

por meio da topografia planialtimétrica realizou-se o estudo do comportamento hidráulico do fluxo dentro do canal no trecho de intervenção.

O coeficiente de Manning (n) adotado foi de 0,035, típico para rios e canais naturais limpos, retílineos e uniformes com bancos e poços e com vegetação herbácea e pedras (CHOW, 2009; PORTO, 2006).

A velocidade média (m/s) do fluxo em cada seção dentro do canal para a chuva de projeto com tempo de retorno de 50 anos foi estimada por meio da seguinte equação (PORTO, 2006):

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Em que V é a velocidade média (m/s) na seção, n é o coeficiente de rugosidade de Manning ($s.m^{1/3}$), R_h é o raio hidráulico (m) e I é a inclinação do leito (m/m).

A partir da velocidade média determinou-se a capacidade de transporte do fluxo para as condições geométricas atuais por meio da equação (MAYER, 1941):

$$b = \frac{v^2 \mu \gamma}{2gf(\gamma_s - \gamma_w) \cos \alpha}$$

Onde b é a dimensão dos blocos transportados no sentido do fluxo (m), V é a velocidade média do fluxo (m/s), μ é um fator de forma (1,46), g é a aceleração da gravidade (m/s^2), f é o coeficiente de atrito entre o leito e o sólido (0,76), γ_s é o peso específico do sólido (kN/m^3), γ_w é o peso específico da água (kN/m^3) e α é a inclinação do fundo ($^\circ$).

O escoamento pode ser classificado quanto à rugosidade em função dos parâmetros geométricos e da velocidade de escoamento. O número de Reynolds de rugosidade é um parâmetro pelo qual se verifica a confiabilidade da equação de Manning. Para canais, o escoamento é considerado rugoso ou turbulento quando o número de Reynolds resulta em um valor superior a 500 (PORTO, 2006).

Em cursos de água naturais o número de Reynolds normalmente apresenta valores extremamente altos, típicos de fluxos turbulentos. É calculado por (SOUSA; MAFFRA; SUTILI, 2017):

$$Re_r = \left(\frac{n}{0,039}\right)^6 \frac{v_a}{10^{-3}}$$

Em que v_a é a velocidade de atrito (m/s) e n é o coeficiente de Manning ($s.m^{1/3}$).

A velocidade de atrito é calculada por (SOUSA; MAFFRA; SUTILI, 2017):

$$v_a = \sqrt{gR_h I}$$

Em que g é a aceleração da gravidade (m/s^2), R_h é o raio hidráulico (m) e I é a inclinação do fundo do leito (m/m).

Além disso, o escoamento também é classificado quanto à velocidade crítica. Quando a velocidade de escoamento for maior que a crítica, é classificado como rápido, torrencial ou supercrítico e, quando for menor que a crítica é classificado como fluvial, lento ou subcrítico (SOUSA; MAFFRA; SUTILI, 2017). Esta constatação pode ser feita através do Número de Froude, expresso como:

$$Fr = \frac{v}{v_{cr}} = \frac{v}{\sqrt{gy}}$$

Onde v é a velocidade do fluxo (m/s), v_{cr} é a velocidade crítica (m/s), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e y é a altura da lâmina de água (m).

Os resultados obtidos para as condições hidráulicas do fluxo no canal em cada bacia estudada são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Condições hidráulicas do fluxo no canal em cada bacia considerando a vazão de projeto.

Seção	y (m)	A _m (m ²)	P _m (m)	R _h (m)	n (s.m ^{1/3})	I (m/m)	v (m/s)	b (m)
Bacia 1								
Seção 01	2,14	22,01	15,57	1,41	0,035	0,006	2,71	0,35
Seção 02	2,08	22,64	16,70	1,36	0,035	0,006	2,64	0,33
Seção 03	2,24	21,39	14,49	1,48	0,035	0,006	2,79	0,37
Bacia 2								
Seção 01	1,16	17,14	17,26	0,99	0,035	0,014	3,40	0,55
Seção 02	1,42	15,82	14,13	1,12	0,035	0,014	3,68	0,65
Seção 03	1,83	15,83	14,13	1,12	0,035	0,014	3,68	0,65
Seção 04	2,00	14,80	11,95	1,24	0,035	0,014	3,93	0,74
Seção 05	2,27	14,07	10,55	1,33	0,035	0,014	4,13	0,82
Seção 06	1,91	14,91	12,19	1,22	0,035	0,014	3,90	0,73

Observa-se na Tabela 5 a classificação do regime de escoamento nas seções de estudo para cada bacia de contribuição.

Tabela 5. Regime de escoamento nas seções de estudo definidas para cada bacia hidrográfica.

Seção	Nº de Reynolds	Regime de Escoamento	Nº de Froude	Regime de escoamento
Bacia 1				
Seção 01	147945	Rugoso	0,59	Fluvial
Seção 02	144913	Rugoso	0,58	Fluvial
Seção 03	151202	Rugoso	0,59	Fluvial
Bacia 2				
Seção 01	196578	Rugoso	1,00	Fluvial
Seção 02	208721	Rugoso	0,98	Fluvial
Seção 03	208771	Rugoso	0,86	Fluvial
Seção 04	219527	Rugoso	0,88	Fluvial
Seção 05	227863	Rugoso	0,87	Fluvial
Seção 06	218174	Rugoso	0,89	Fluvial

Verificou-se que para um tempo de retorno de 50 anos, as velocidades de fluxo obtidas para as vazões de projeto nas 3 seções de estudo da bacia 1 variam de 2,64 a 2,79 m/s e a lâmina de água apresenta uma altura de 1,64 a 2,39 m. Já para a bacia 2 as velocidades de fluxo obtidas para as 6 seções de estudo variam de 3,40 a 4,13 m/s e a lâmina de água apresenta uma altura de 1,18 a 2,63 m.

Para canais sem revestimento e constituídos por material arenoso comum, Chow (2009) indica uma velocidade máxima permissível de 0,46 e 0,76 m/s (para água limpa e água com siltes coloidais, respectivamente). Chaudry (2008) indica uma velocidade máxima permissível de 0,6 m/s, enquanto Porto (2006) recomenda uma velocidade média admissível de 0,61 a 0,76 m/s). Ou seja, nas duas bacias estudadas, em todas as seções transversais as velocidades obtidas são superiores às velocidades aconselhadas para o tipo de material de revestimento das paredes e fundo do canal, o que corrobora a existência de erosão nos dois trechos de estudo.

A condição de rugosidade pelo Número de Reynolds foi observada para todas as seções transversais do canal, que é condição essencial à aplicação da equação de Manning. O escoamento é classificado como fluvial em todas as seções.

A Tabela 6 apresenta as novas condições hidráulicas a serem obtidas para o canal (seção tipo) das duas bacias considerando o estabelecimento da vegetação instalada com as técnicas de Engenharia Natural. Os coeficientes de Manning equivalentes (n_e) utilizados foram de 0,049 (bacia 1) e 0,045 (bacia 2), resultantes da ponderação entre os coeficientes de 0,080 adotado para as estruturas de consolidação com vegetação (NJDA, 2014) e 0,035 adotado para o revestimento com enrocamento em pedra e leiro natural em solo (CHAUDHRY, 2008; DAEE, 2005; SUBRAMANYA, 2015).

Tabela 6. Condições hidráulicas no canal com vegetação considerando a vazão de projeto para cada bacia.

Seção	y (m)	A _m (m ²)	P _m (m)	R _h (m)	n (s.m ^{1/3})	I (m/m)	v (m/s)	b (m)
Bacia 1								
Seção tipo	2,21	28,30	17,83	1,59	0,049	0,006	2,11	0,21
Bacia 2								
Seção tipo	1,70	22,05	16,81	1,31	0,045	0,010	2,64	0,33

Os resultados revelam uma melhora substancial dos parâmetros geométricos e hidráulicos em relação à condição atual. Apesar das seções apresentarem velocidades médias altas, pode considerar-se que essas velocidades são admissíveis considerando os materiais especificados nas técnicas projetadas para proteção das margens (enrocamento combinado com muro de suporte vivo). Além disso, a dimensão do material projetado para as técnicas de enrocamento do fundo do leito e soleiras (trecho 2) e enrocamento das margens (trechos 1 e 2) atende à velocidade limite de transporte calculada para a seção tipo de cada trecho.

A Tabela 7 apresenta as novas condições de escoamento para o novo canal das duas bacias de contribuição.

Tabela 7. Regime de escoamento no canal com vegetação considerando a vazão de projeto para as duas bacias.

Seção	Nº de Reynolds	Regime de Escoamento	Nº de Froude	Regime de escoamento
Bacia 1				
Seção tipo	1123501	Rugoso	0,45	Fluvial
Bacia 2				
Seção tipo	903206	Rugoso	0,64	Fluvial

Pode-se observar que o escoamento é classificado como rugoso pelo Número de Reynolds para todas as seções e em fluvial pelo Número de Froude.

4.2 Criticidade e evolução

As inadequadas condições hidráulicas de escoamento nos dois trechos favorecem a perda de estabilidade das margens, de modo que o processo erosivo se encontra ativo e em progressão. A ausência de proteção nos taludes condiciona o avanço do processo corrosivo e perda de solo resultando num passivo ambiental que pode contribuir para o assoreamento em outros pontos a jusante dos trechos de intervenção. Estes efeitos são especialmente negativos durante eventos intensos de precipitação, quando o fluxo dentro do canal adquire maior competência e capacidade erosiva.

Desta forma, em obras hidráulicas em pequenos rios ou córregos leva-se geralmente em consideração a probabilidade de ocorrência das vazões de dimensionamento. A probabilidade (%) de ocorrer uma cheia que não ultrapasse, em um ano qualquer, a vazão de projeto estimada para certo período de retorno é definido pela seguinte expressão (PINTO et al., 2008):

$$P = 100 - \frac{100}{T_r}$$

O risco hidrológico (R) representa a probabilidade de ocorrência de pelo menos um evento igual ou superior à cheia de projeto ($T_r = 50$ anos) durante a vida útil da obra n (15 anos). Quanto mais perto da unidade, maior é o risco associado à ocorrência deste evento. É definido pela expressão (RIGHETTO, 1998):

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

Desta forma, constatou-se que para as intervenções projetadas, a probabilidade do evento não ser excedido é de 98% e o risco associado a esse evento é de 0,26.

4.3 Intervenções recomendadas

As soluções de Engenharia Natural propostas para o local devem atender às solicitações impostas pela dinâmica e características do local, nomeadamente estabilizar os taludes fluviais onde ocorrem processos erosivos, evitando a progressão da erosão, a perda e transporte de solo para áreas à jusante, que causa o assoreamento do canal. As técnicas especificadas também visam aumentar a rugosidade hidráulica nas margens e diminuir a velocidade do fluxo e consequentemente o seu potencial erosivo. Além disso, as medidas de tratamento devem promover a revitalização das margens por meio da implantação de soluções baseadas na natureza (NbS).

Para os dois trechos, as medidas de intervenção devem prever a limpeza dos bancos de sedimentos visando regularizar o fluxo e o seu regime de escoamento e evitar o desvio do eixo da torrente para as margens. Além disso, deve ser realizada a redução da inclinação das margens, a sua proteção e estabilização nos dois trechos, de forma a promover o desenvolvimento da vegetação a ser implantada, evitando o alargamento do canal e a progressão da erosão para as áreas dos lindeiros adjacentes ao curso de água.

No trecho 1, para estabilizar a base dos taludes foi projetado um enrocamento executado com pedra rachão de diâmetro mínimo de 30 cm. O enrocamento ou *rip-rap* consiste na disposição de rochas com dimensão adequada à velocidade limite de transporte e é uma intervenção muito utilizada para revestimento e proteção de taludes fluviais. Apesar do enrocamento poder ser combinado com a aplicação de mudas arbustivas, para este caso específico, optou-se por não especificar o uso de plantas na base dos taludes, uma vez que essa vegetação, principalmente em períodos de baixa vazão, iria promover a sedimentação de solo e a formação de bancos de areia que poderiam causar o desvio do fluxo para as margens ou a obstrução parcial do canal, alterando o regime de escoamento.

Acima do enrocamento foi especificada a execução de muros de suporte vivos parede dupla (também denominada como parede krainer dupla). Os muros de suporte são muito utilizados para sustentar e conter terrenos muito íngremes, tanto em margens fluviais como em taludes secos, para sistematizar deslizamentos de terra ou para sustentar percursos pedonais, redes viárias ou ferroviárias.

O muro de suporte vivo consiste numa estrutura em madeira que funciona como um muro gravítico, executado com troncos de madeira dispostos em níveis sobrepostos, perpendiculares uns aos outros, de modo a formarem uma estrutura de contenção do material inerte. A estrutura apresenta duas paredes, uma externa, frontal, e uma interna que está em

contato com o substrato, ambas paralelas e inclinadas com um valor de 28° em relação à vertical. No seu interior são utilizadas mudas arbustivas que aumentam o efeito estabilizante da estrutura à medida que o sistema radicial das plantas se desenvolve. Foi também preconizada a utilização de biorretentores de coco como técnica complementar ao muro de suporte vivo. Os biorretentores de coco têm como principal função impedir que o solo de preenchimento do muro seja arrastado em eventos de maior pluviosidade e consequente aumento da lâmina de água e velocidade de fluxo.

Para a parte superior do talude, acima do muro de suporte vivo, deverá ser realizado o plantio de mudas arbustivas e herbáceas, que contribuem para a estabilização e revestimento superficial do solo.

No início e final do trecho 1 (à montante e jusante do muro de suporte) foi projetado um enrocamento com pedra de diâmetro 30 cm. A partir da cota 507,60 m o enrocamento deverá ser combinado com plantio de mudas arbustivas (4 un/m²).

No final do trecho 1, a parte posterior do muro ala direito da passagem hidráulica (Figura 5), deverá ser aterrada com solo disposto em camadas de 30 cm que deverão ser compactadas com compactador de solo. Posteriormente o talude no topo da passagem hidráulica e dos muros ala deverá ser enrocado com pedra de diâmetro 30 cm. Estas medidas visam aumentar a estabilidade do talude, da passagem hidráulica e dos muros ala, bem como os níveis de segurança à infraestrutura e à circulação de pessoas.

Para o caso do trecho 2, numa extensão de 20 m imediatamente à jusante da passagem hidráulica, deverá ser realizado o revestimento e proteção do leito do córrego com enrocamento (pedra de diâmetro 50 cm) de forma a evitar o *scour* de fundo do canal. No mesmo subtrecho de 20,0 m para as margens foi projetado um enrocamento com pedra de diâmetro 50 cm e a partir da cota 502,0 m o enrocamento deverá ser combinado com plantio de mudas arbustivas (4 un/m²). No restante do trecho deverão ser executadas as técnicas descritas anteriormente para o trecho 1, ou seja, enrocamento para estabilizar a base dos taludes executado com pedra rachão de diâmetro mínimo de 40 cm. Acima do enrocamento foi especificada a execução de muros de suporte vivo parede dupla seguindo as mesmas características descritas anteriormente. Na parte superior do talude, acima dos muros de suporte, deverá ser realizado o plantio de mudas arbustivas e herbáceas.

Adicionalmente para o trecho 2, também foram especificadas 3 estruturas transversais em pedra (soleiras) executadas no fundo do leito com o objetivo de evitar a movimentação e o transporte do material do fundo. Deverão ser executadas com pedra rachão de diâmetro

mínimo de 40 cm e devem atravessar toda a largura do córrego, encaixando-se perfeitamente com o enrocamento da base do talude.

Na parte final do trecho 2 antes da passagem hidráulica (à jusante do muro de suporte) foi projetado um enrocamento com pedra de diâmetro 40 cm. A partir da cota 501,0 m o enrocamento deverá ser combinado com plantio de mudas arbustivas (4 un/m²).

Nos dois trechos deverá ser feito o plantio de mudas arbóreas em uma faixa afastada de 1,5 m da crista do talude com o objetivo de melhorar a biodiversidade da Área de Preservação Permanente. Não deverão ser plantadas espécies arbóreas nos taludes ou perto da crista, uma vez que podem contribuir para agravamento das condições futuras de estabilidade geotécnica do local. A faixa de plantio de arbóreas ficará restringida em ambas as margens pelas tubulações do Departamento de Água e Esgoto de Bauru (DAE), que delimitam as áreas de intervenção.

No final da obra todas as áreas impactadas pela intervenção deverão ser semeadas com espécies herbáceas autóctones para revestimento e proteção superficial do solo, evitando a ocorrência de erosão laminar. Além disso, a utilização de vegetação também aumenta a rugosidade superficial do solo, contribuindo para atenuar a velocidade da água na superfície do talude.

Na Figura 12 está representada a evolução de uma intervenção fluvial com muro de suporte vivo desde a execução até o início do desenvolvimento da vegetação.



Figura 12. Evolução de muro de suporte vivo parede dupla executado para consolidação e revegetação de talude fluvial. Fotografias: Rita Sousa.

Na Figura 13 está representada uma intervenção de Engenharia Natural num talude fluvial urbano constituída por um enrocamento na base do talude e um muro de suporte vivo desde a execução até o início do desenvolvimento da vegetação.



Figura 13. Evolução de enrocamento e muro de suporte vivo parede dupla executado para consolidação e revitalização de talude fluvial em âmbito urbano. Fotografias: Rita Sousa.

Apresentados os dimensionamentos e as especificidades de cada técnica projetada neste projeto básico-executivo, na sequência serão descritos os serviços necessários para a execução das intervenções de Engenharia Natural.

5. SERVIÇOS

Os serviços incluem a descrição das medidas de apoio preparatórias executadas no início e final da obra, bem como as técnicas de Engenharia Natural. Além destas tarefas, deve ser monitorada a presença de formigas cortadeiras no local e seu combate deve ser feito antes do início e durante toda a execução da obra ou ainda sempre que houver necessidade.

5.1 Serviços iniciais

A recomposição vegetal deve ser precedida de serviços iniciais que visem garantir, bem como apoiar os efeitos benéficos advindos da implantação da cobertura vegetal. As medidas iniciais consistem basicamente na abertura ou melhoria dos acessos às áreas, demarcação das áreas de intervenção, entre outras atividades de apoio.

5.1.1 Acesso às áreas de intervenção

O acesso às áreas de intervenção deverá ser feito pela margem esquerda (trecho 1) e pela margem direita (trecho 2). No caso do trecho 2, o acesso também poderá ser feito pela margem esquerda após autorização a ser concedida pelos proprietários lindeiros.

5.1.2 Demarcação das áreas de intervenção

Previamente ao início dos trabalhos deverão ser demarcadas e identificadas as áreas de intervenção e as técnicas previstas neste projeto. A alocação das técnicas deverá ser preferencialmente realizada com auxílio de topografia.

5.1.3 Remoção de vegetação instável e exótica

A vegetação existente no topo do talude como árvores de grande porte, bem como indivíduos de leucena localizadas nas margens dos dois trechos, deverão ser removidas para diminuir a sobrecarga no talude e evitar o efeito alelopático que poderia prejudicar o desenvolvimento das espécies nativas especificadas neste projeto. Caso se observe a presença de outros exemplares de maior porte em fase de desenvolvimento nos taludes, as mesmas deverão ser removidas, já que podem agravar as condições de estabilidade geotécnica do talude.

No caso particular de exemplares da espécie leucena deverá ser efetuado o corte do tronco e a remoção do toco e raízes evitando desta forma a rebrota dos indivíduos. Nas Figuras 4, 5, 7, 8 e 9 estão representados alguns dos exemplares arbóreos instáveis e exóticos que deverão ser removidos das áreas de intervenção.

O material vegetal a ser podado e/ou removido deverá ser cortado em pedaços menores e levado para bota-fora para descarte em local apropriado.

5.1.4 Limpeza do eixo da torrente

Após remoção da vegetação instável e exótica do topo dos taludes deverá ser executada a limpeza do eixo da torrente com escavadeira hidráulica. Esta atividade consiste na remoção de bancos de sedimento, blocos de pedra, entulho, árvores caídas, galharia e/ou outros materiais inertes ou vivos existentes no canal. Esta limpeza tem como objetivo desobstruir o canal, minimizando alterações no regime do fluxo e os fenômenos de turbulência e o redirecionamento do fluxo de água para os taludes.

A limpeza deverá ser executada nos trechos 1 e 2. No trecho canalizado imediatamente a montante do trecho 2, representado na Figura 6 também deverá ser feita a remoção da camada de sedimento acumulada e dos resíduos que estão a obstruir a passagem hidráulica.

As atividades de limpeza do eixo da torrente devem ser sempre executadas de montante para jusante, ou seja, primeiramente deve ser realizada a limpeza do trecho 1, seguido do trecho

canalizado e, por fim, do trecho 2. No final dos trechos 1 e 2 deverá ser instalada uma barreira de sedimentos provisória (em geotêxtil) durante as atividades de limpeza, evitando que material seja transportado pelo fluxo de água para fora das áreas de intervenção. No final da execução da obra essas barreiras de sedimentos deverão ser removidas.

Todo o material que for removido deverá ser transportado para bota-fora para descarte em local apropriado. Os RCC e a areia removida dos bancos de sedimentos não devem ser utilizados para enchimento das estruturas em madeira ou recomposição dos taludes porque não apresentam características mecânicas adequadas (coesão e ângulo de atrito).

5.1.5 Terraplenagem

Após a limpeza do eixo da torrente deverá ser executada a remodelagem dos taludes e do fundo do canal com escavadeira hidráulica mediante corte e aterro nas condições adequadas de segurança. Antes das atividades de remodelação deverá ser realizado o posicionamento de marcos topográficos no terreno com a ajuda de estação total ou RTK. Esta atividade permitirá a execução das atividades de corte dos taludes e fundo do canal com maior rapidez, além de permitir maior precisão no posicionamento do novo eixo do canal.

Deverá ser realizada a remodelagem das margens, ou seja, a escavação e o aterro, de modo a alargar o canal e reduzir a inclinação dos taludes e posterior execução das intervenções de estabilização (enrocamentos e muro de suporte), conforme representado no Desenho 2 (trecho 1) e Desenhos 6 e 7 (trecho 2). Uma vez que os taludes não irão suportar cargas, o material deverá ser compactado apenas com recurso à própria concha da máquina utilizada para o corte, não sendo necessário utilizar compactador de solo. Deste modo, a compactação do solo deverá permitir o desenvolvimento da vegetação implementada nas intervenções.

No trecho 1 o volume de corte é de 547,30 m³ e o volume de aterro é de 85,50 m³, o que resulta num volume de bota-fora de 461,70 m³. No trecho 2 o volume de corte é de 1514,40 m³ e o volume de aterro é de 490,70 m³, o que resulta num volume de bota-fora de 1023,80 m³.

As margens deverão ser retaludadas com inclinação de 30° conforme o especificado nos Desenhos 3, 8 e 9.

O material escavado, caso seja originário de depósito de sedimentos arenosos, deverá ser transportado para bota-fora para descarte em local apropriado, uma vez que não apresenta características mecânicas adequadas (coesão e ângulo de atrito) para aterro das margens e

enchimento das estruturas de estabilização. Também não deverão ser utilizados resíduos vegetais ou de construção civil para aterro e/ou enchimento de estruturas. Para tal, deverá ser providenciado solo com propriedades mecânica adequadas.

No caso específico do muro ala direito da passagem hidráulica do trecho 1 (Figura 5), a parte posterior do mesmo deverá ser aterrada com solo disposto em camadas de 30 cm que deverão ser compactadas com compactador de solo (tipo sapo ou placa vibratória), aumentando a estabilidade do talude e os níveis de segurança à infraestrutura e circulação de pessoas.

5.1.6 Cuidados com o material vegetal

Durante o transporte do material vegetal proveniente de viveiro deve-se garantir que as plantas sejam protegidas (por exemplo, com lona plástica), de forma a minimizar o ressecamento dos ramos e folhas. As plantas devem ser armazenadas à sombra e irrigadas sempre que necessário durante o período de armazenamento a campo e antes da execução do plantio.

Após execução do plantio, as mudas devem ser devidamente irrigadas, dando-se preferência para horários durante o início da manhã ou no fim da tarde.

5.1.7 Controle de formigas cortadeiras

A presença de formigas deve ser monitorada e o seu controle deve ser feito com iscas formicidas antes dos trabalhos de plantio serem iniciados, bem como durante toda a fase de execução e posterior manutenção. Desta forma, o controle de formigas deve ser executado sempre que houver necessidade.

5.2. Técnicas de Engenharia Natural

A Engenharia Natural consiste em um conjunto de técnicas que combinam materiais construtivos vivos com inertes, e que podem ser aplicadas como soluções construtivas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controle de processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetar ecossistemas em equilíbrio dinâmico (SOUSA, 2019; SOUSA; SUTILI, 2017). Face às tipologias erosivas encontradas nas margens dos trechos de intervenção no Córrego Água do Sobrado, a Engenharia Natural apresenta-se como uma

ferramenta adequada para estabilizar e recuperar áreas instáveis e degradadas, uma vez que considera critérios técnicos de dimensionamento de projeto, além de apresentar baixo impacto ambiental. Além disso, também considera os efeitos e contribuições técnicas das plantas autóctones para a solução de problemas relacionados aos processos erosivos. A Engenharia Natural está em completa consonância com conceitos das Soluções Baseadas na Natureza (*nature based solutions – NbS*), que valorizam a biodiversidade e diminuem a pressão antrópica sobre ecossistemas naturais, cujos aspectos são cada vez mais valorizados a nível mundial.

5.2.1 Enrocamento

O enrocamento ou *rip-rap* é uma intervenção utilizada para revestimento e proteção dos taludes fluviais e fundo do leito. Consiste na aplicação de material rochoso com dimensão adequada à velocidade limite de transporte. Deverá ser utilizada pedra rachão resistente e não friável.

Previamente à aplicação do enrocamento deverá ser feito o retaludamento dos trechos de intervenção conforme descrito no item 5.1.5 e Desenho 2 (trecho 1) e Desenhos 6 e 7 (trecho 2).

Primeiramente procede-se à aplicação de um geotêxtil do tipo não tecido agulhado com permeabilidade normal mínima 0,36 cm/s, gramatura de 400 g/m² e resistência à tração mínima de 20 kN/m. Este geotêxtil funciona como separação e sistema de filtragem, permite a passagem de água e retenção das partículas de solo. O geotêxtil deverá ser aplicado para separar o enrocamento em pedra do solo. Sempre que existirem sobreposições entre camadas de geotêxtil, as mesmas deverão ser sobrepostas no mínimo 40 cm de forma a evitar a perda de solo nessas sobreposições. A sobreposição deverá ser feita conforme representado no Desenho 4 (Trecho 1) e Desenho 10 (Trecho 2), ou seja, a faixa de montante deve ser sempre colocada sobre a faixa de jusante, considerando o sentido de escoamento do fluxo.

Na sequência deverá ser aplicada a pedra com auxílio de máquina, conforme detalhes representados no Desenho 4 para o trecho 1 e Desenho 10 para o trecho 2.

Na Tabela 8 estão indicados os pontos onde o enrocamento deverá ser executado, bem como as respectivas especificações. O volume de pedra apresentado considera um coeficiente de empolamento de 15%.

Tabela 8. Pontos com aplicação de enrocamento e respectivas especificações.

Trecho	Local	Dimensão da pedra	Extensão da intervenção	Espessura da camada	Volume de pedra (m³)
1	ME e MD (a montante do muro) #	30 cm	2 x 2,0 m	0,50 m	14,5
1	ME e MD (base do talude)	30 cm	2 x 50,0 m	0,50 m	232,2
1	ME e MD (junto à PH) #	30 cm	2 x 9,0 m	0,50 m	69,3
2	Leito (à jusante da PH)	50 cm	20,0 m	0,50 m	113,3
2	ME e MD (à jusante da PH) *	50 cm	2 x 20,0 m	0,50 m	108,1
2	ME e MD (base do talude)	40 cm	2 x 77,0 m	0,50 m	397,3
2	ME e MD (na entrada da PH) **	40 cm	2 x 6,0 m	0,50 m	39,3

Legenda: ME: Margem esquerda; MD: Margem direita; PH: Passagem hidráulica. # Enrocamento vivo a partir da cota 507,6 m; * Enrocamento vivo a partir da cota 502,0 m; ** Enrocamento vivo a partir da cota 501,0 m.

A localização desta técnica e os detalhamentos construtivos estão descritos nos Desenhos 1 e 4 (trecho 1) e Desenhos 5 e 10 (trecho 2). O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.2 Soleiras

As soleiras são uma intervenção transversal ao fluxo de água utilizada para revestimento e proteção do fundo do leito, evitando a mobilização e transporte do material de fundo. Consiste na aplicação de material rochoso com dimensão adequada à velocidade limite de transporte (diâmetro mínimo de 40 cm) disposto em faixas transversais. Deverá ser utilizada pedra rachão resistente e não friável. Na execução das soleiras não deverá ser aplicado geotêxtil de separação entre a pedra e o solo.

Deverão ser executadas 3 soleiras em pedra, atravessando toda a largura do córrego, com dimensões de 2,0 x 9,0 m e espessura de camada de 0,40 m, perfazendo um total de 24,8 m³ de pedra (considerando um coeficiente de empolamento de 15%).

O posicionamento e distância entre as soleiras deverá ser consultada nos Desenhos 5 e 6. O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.3 Enrocamento vivo

O enrocamento vivo consiste na colocação de rochas com dimensão adequada à velocidade limite de transporte, combinadas com mudas arbustivas, o que aumenta a sua ação estabilizante à medida que o sistema radicular das plantas se desenvolve.

Deverá ser executado nas duas margens do trecho 1 numa extensão de 2,0 m no início da intervenção imediatamente à montante do muro de suporte vivo (para proteção da estrutura) a partir da cota 507,60 m, bem como numa extensão média de 9,0 m no final do trecho 1 (nas margens na entrada da passagem hidráulica e no seu topo) a partir da cota 507,60 m, conforme indicado na Tabela 8. Também deverá ser executado nas duas margens do trecho 2 numa extensão de 20,0 m imediatamente à jusante da passagem hidráulica, a partir da cota 502,0 m e numa extensão de 6,0 m no final do trecho 2 (nas margens da entrada da passagem hidráulica) a partir da cota 501,0 m, conforme indicado na Tabela 8.

Primeiramente deverá ser aplicada a pedra (dimensão variável dependente do ponto de aplicação) numa camada com espessura de 0,50 m, conforme representado nos Desenhos 4 e 10. No final da disposição da pedra deverá ser realizado o plantio de mudas arbustivas nos seus interstícios numa densidade de 4 un/m², sempre intercalando as espécies entre si. Deverão ser utilizadas as espécies: *Brunfelsia uniflora*, *Calliandra brevipes*, *Calliandra tweedii*, *Eugenia uniflora*, *Gymnanthes schottiana*, *Guettarda uruguensis*, *Lochroma arborescens* e *Senna alata*.

A aplicação do material vegetal entre as pedras do enrocamento deve ser executada com especial atenção, já que este material corre o risco de ser esmagado pelo peso das pedras, ou ser mal inserido no terreno, o que pode prejudicar o sucesso da intervenção. Primeiramente deverão ser afastadas as pedras de modo manual e depois deverão ser abertas as covas de dimensão e profundidade de 20 x 20 cm.

Durante o plantio deverá ser incorporado ao solo do fundo da cova uma dose de 50 g de adubo mineral granulado Superfosfato Simples (concentração de 17% a 21% de P₂O₅ (fósforo), além de aproximadamente 11% de Enxofre (S) e 18% de Cálcio (Ca)), composto orgânico numa dose de 150 g/planta e um polímero hidrorretentor (hidrogel) em uma dose de 500 ml de solução por muda. O adubo e o composto orgânico devem ser misturados ao solo de forma a não ficarem em contato direto com o sistema radicular das mudas, enquanto o hidrogel deve ser aplicado diretamente junto ao sistema radicular das plantas. Após o plantio, as mudas devem ser irrigadas, dando-se preferência para horários no início da manhã ou no fim da tarde.

A localização desta técnica e os detalhamentos construtivos estão descritos nos Desenhos 1 e 4 (trecho 1) e Desenhos 5 e 10 (trecho 2). O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.4 Muro de suporte vivo parede dupla

O muro de suporte vivo é uma técnica utilizada para estabilização e consolidação de taludes fluviais. O muro de suporte vivo parede dupla deverá ser executado nas duas margens dos dois trechos de intervenção numa extensão de 45 m (trecho 1) e 77 m (trecho 2).

O muro de suporte vivo deverá ser executado com madeira de diâmetro 18 cm de espécies que tenham densidade básica igual ou superior a $0,8 \text{ g/cm}^3$. A espécie escolhida pela empresa executante deve ser previamente submetida à aprovação da equipe projetista. A madeira não deve ser tratada e não pode apresentar casca (o que acelera a degradação da madeira).

O muro deve ser executado sobre a base em enrocamento que deverá ter uma inclinação de 10° em relação à horizontal, conforme representado nos Desenhos 4 e 10.

A execução da estrutura inicia-se com a colocação das duas filas de troncos longitudinais paralelas entre si, distanciadas de 1,80 m (distância medida entre o centro dos troncos). Quando necessário, uma vez que os troncos longitudinais têm apenas 3,0 m de comprimento, troncos adjacentes deverão ser unidos entre si por meio de um encaixe tipo meia madeira (o corte deve ter dimensão de 0,15 m e ser realizado com motosserra nos dois troncos adjacentes), conforme representado no detalhe dos Desenhos 4 e 10 e posterior fixação com barra de aço CA-50 nervurado com diâmetro de 12,5 mm e comprimento de 0,18 m (igual ao diâmetro do tronco). Previamente à inserção das barras de aço deve ser executado um furo de mesmo diâmetro do aço ($\varnothing 12,5 \text{ mm}$), de forma a evitar que o tronco de madeira seja danificado durante a pregagem, o que caso ocorra, acelera a sua degradação.

As duas filas de troncos longitudinais da base deverão ser ancoradas com barras de aço CA-50 nervurado (diâmetro 12,5 mm) com comprimento de 1,00 m. Estas ancoragens devem estar distanciadas 1,00 m entre si e serem cravadas com execução de furo prévio na madeira.

Em seguida coloca-se a fila de troncos transversais (comprimento de 2,20 m) espaçados 1,50 m entre si (distância medida entre o centro dos troncos), em sentido ortogonal aos longitudinais, fixando-a à fila inferior através de barras de aço nervurado (diâmetro 12,5 mm e comprimento 0,36 m). Previamente à inserção das barras de aço deve ser executado um

furo de mesmo diâmetro do aço (\varnothing 12,5 mm), de forma a evitar que o tronco de madeira seja danificado durante a pregagem.

Após aplicação e fixação dos troncos transversais deve ser colocada a segunda fila de troncos longitudinais posicionada com recuo em relação à inferior, de modo a obter um paramento frontal com uma inclinação de cerca de 28° em relação à vertical (Desenhos 4 e 10).

Posteriormente, devem ser posicionadas as mudas arbustivas no paramento frontal da estrutura nos interstícios entre os troncos de madeira na densidade de plantio de 5 un/m (intercalando as espécies entre si). Deverão ser utilizadas as espécies: *Brunfelsia uniflora*, *Calliandra brevipes*, *Calliandra tweedii*, *Eugenia uniflora*, *Gymnanthes schottiana*, *Guettarda uruguensis*, *Lochroma arborescens* e *Senna alata*.

No momento da aplicação das mudas, estas devem ser adubadas com uma dose de 50 g de adubo mineral granulado Superfosfato Simples (concentração de 17% a 21% de P_2O_5 (fósforo), além de aproximadamente 11% de Enxofre (S) e 18% de Cálcio (Ca)) e composto orgânico numa dose de 150 g/planta. Também deverá ser aplicada uma solução de polímero hidrorretentor (hidrogel) numa quantidade de 500 ml/planta. A aplicação destes insumos deve ser realizada nas proximidades das raízes das plantas, atentando para que o hidrogel esteja em contato direto com as mesmas e que o adubo mineral e o composto orgânico estejam mais afastados e incorporados ao solo. Após o plantio, as mudas devem ser irrigadas, dando-se preferência para horários no início da manhã ou no fim da tarde.

Posteriormente à aplicação das mudas arbustivas deve ser colocado o biorretentor 100% coco (compacto) com diâmetro de 0,30 m na parte posterior no espaço formado pelas duas filas de troncos longitudinais da face da estrutura. O biorretentor de coco deve ser posicionado sobre as mudas, sem danificar as mesmas, garantindo que não permaneçam espaços abertos entre os troncos, de forma que durante épocas de precipitação intensa, o solo do interior da estrutura não seja arrastado para fora da mesma. O detalhe do posicionamento do biorretentor e das mudas arbustivas no interior da estrutura pode ser observado nos Desenhos 4 e 10.

Na Figura 14 podem ser observados exemplos de obras com muros de suporte vivos combinados com biorretentores de coco e mudas arbustivas no interior da estrutura nos espaços entre troncos longitudinais.



Figura 14. Detalhes do posicionamento de biorretentores de coco e mudas arbustivas dentro de muros de suporte vivos. Fotografias: Rita SOUSA e Junior DEWES.

Após a colocação do biorretentor de coco deve ser feito o preenchimento da estrutura com solo até o topo da segunda fila de troncos longitudinais. O solo no interior da estrutura deverá ser ligeiramente compactado, de forma a permitir o desenvolvimento da vegetação.

Na sequência deverá ser colocada a segunda fila de troncos transversais, garantindo-se que a posição dos troncos esteja desfasada em relação aos troncos da primeira fila de troncos transversais. Deverão ser repetidos todos os procedimentos descritos anteriormente até que o muro de suporte alcance a altura final de 1,85 m (trecho 1) e 1,52 m (trecho 2) (alturas medidas na vertical).

Os troncos transversais nunca devem ser apoiados em encaixes entre troncos longitudinais, conforme se pode observar nos detalhes executivos dos Desenhos 4 e 10. Por sua vez os encaixes entre troncos longitudinais devem ser sempre apoiados em troncos transversais para

garantir maior estabilidade e devem estar desencontrados entre si, de forma a evitar um plano de ruptura preferencial (Desenhos 4 e 10).

As laterais dos muros de suporte vivos deverão ser completamente fechadas por meio da aplicação de pedras com dimensão 30 cm dentro do muro nos espaços formados entre filas de troncos transversais, de forma a que o fluxo de água não remova o solo de preenchimento da estrutura. Além disso, a técnica de enrocamento à montante e à jusante dos muros deverá ser executada perfeitamente encostada aos mesmos, evitando a perda de solo nessa interface, conforme exemplos de obras apresentados na Figura 15.



Figura 15. Exemplos de obras de Engenharia Natural com detalhe da interface entre o enrocamento e o muro de suporte vivo. Fotografias: Rita SOUSA e Junior DEWES.

A localização dos muros de suporte vivos está indicada nos Desenhos 1 (trecho 1) e 5 (trecho 2). Os detalhes construtivos estão representados nos Desenhos 4 (trecho 1) e 10 (trecho 2). O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.5 Plantio de mudas arbustivas

O plantio de mudas arbustivas deve ser executado nos taludes acima dos muros de suporte vivos numa densidade de 4 un/m², sempre de forma intercalada, evitando o agrupamento de espécies iguais. As plantas deverão apresentar altura mínima de 0,60 m. Deverão ser utilizadas as espécies: *Allamanda cathartica*, *Brunfelsia uniflora*, *Calliandra brevipes*, *Eugenia uniflora*, *Gymnanthes schottiana*, *Lochroma arborescens*, *Senna macranthera*, *Senna occidentalis* e *Sesbania virgata*.

Deverão ser abertas covas de dimensão e profundidade de 20 x 20 cm e durante o plantio deverá ser incorporado ao solo do fundo da cova o adubo mineral granulado Superfosfato Simples (concentração de 17% a 21% de P₂O₅ (fósforo), além de aproximadamente 11% de Enxofre (S) e 18% de Cálcio (Ca)) numa dose de 50 g/planta e composto orgânico numa dose de 150 g/planta. Também deverá ser aplicada uma solução de polímero hidrorretentor (hidrogel), numa quantidade de 500 ml/planta. A aplicação destes insumos deve ser realizada nas proximidades das raízes das plantas, atentando para que o hidrogel esteja em contato direto com as mesmas e que o adubo mineral e o composto orgânico estejam mais afastados e incorporados ao solo. Após o plantio, as mudas devem ser irrigadas, dando-se preferência para horários no início da manhã ou no fim da tarde.

A localização do plantio das mudas arbustivas está representada nos Desenhos 1 e 4 (trecho 1) e Desenhos 5 e 10 (trecho 10). O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.6 Plantio de mudas herbáceas

As mudas herbáceas devem ser plantadas no talude acima dos muros de suporte vivos entre as plantas arbustivas. Devem ser utilizadas as espécies *Arachis repens* Handro (amendoim-forrageiro) e *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski (margaridão, mal-me-quer) (Figura 16).



Figura 16. Plantas herbáceas especificadas *Arachis repens* Handro (à esquerda) e de *Sphagneticola trilobata* (à direita). Fotografias: Vallis E&A, 2024.

As espécies são amplamente utilizadas em obras de Engenharia Natural e visam a rápida cobertura superficial e proteção do solo contra processos erosivos superficiais. De forma

adicional o amendoim-forrageiro tem a capacidade de fixação biológica de nitrogênio atmosférico através de associações com bactérias do gênero *Rhizobium*, melhorando a qualidade do solo.

As mudas devem ser plantadas numa densidade de 4 un/m². Deverão ser abertas covas de dimensão e profundidade de 15 x 15 cm e durante o plantio deverá ser incorporado ao solo do fundo da cova o adubo mineral granulado Superfosfato Simples (concentração de 17% a 21% de P₂O₅ (fósforo), além de aproximadamente 11% de Enxofre (S) e 18% de Cálcio (Ca)) numa dose de 35 g/planta e composto orgânico numa dose de 150 g/planta. Também deverá ser aplicada uma solução de polímero hidrorretentor (hidrogel), numa quantidade de 500 ml/planta. A aplicação destes insumos deve ser realizada nas proximidades das raízes das plantas, atentando para que o hidrogel esteja em contato direto com as mesmas e que o adubo mineral e o composto orgânico estejam mais afastados e incorporados ao solo. Após o plantio, as mudas devem ser irrigadas, dando-se preferência para horários no início da manhã ou no fim da tarde.

A localização do plantio das mudas herbáceas está representada nos Desenhos 1 e 4 (trecho 1) e Desenhos 5 e 10 (trecho 2). O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.7 Plantio de mudas arbóreas

O objetivo do plantio de mudas arbóreas é promover o aumento da biodiversidade da faixa ciliar através do enriquecimento com espécies nativas florestais. As mudas arbóreas deverão ser plantadas na margem direita do Trecho 2. O plantio de mudas arbóreas de pequeno porte deverá ser realizado em uma faixa afastada de 1,5 m da crista do talude, e as mudas devem estar espaçadas entre si 2,0 m. As plantas deverão apresentar altura superior a 1,0 m. As espécies escolhidas são as seguintes:

- *Bauhinia longifolia* (Bong.) Steud. (Pata-de-vaca);
- *Inga edulis* Mart. (Ingá-de-metro, ingá-doce);
- *Inga laurina* (Sw.) Willd. (Ingá-mirim, inga-chichi, ingá-branco);
- *Inga vera* Willd. (Ingá-banana);
- *Lafoensia pacari* A.St.-Hil. (Dedaleira-amarela, mangaba-brava, pacari)
- *Luehea grandiflora* Mart. (Açoita-cavalo, fruta-de-cavalo)
- *Magnolia ovata* (A.St.-Hil.) Spreng. (Pinha-do-brejo, fruta-de-pau, baguaçu);
- *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho (Cambará);
- *Myrcia multiflora* (Lam.) DC. (Pitanga-do-mato, camboí, camboí-bravo);

- *Plathymenia reticulata* Benth. (Vinhático);
- *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (Almecegueira, amescla-de-cheiro)
- *Schinus terebinthifolia* Raddi (Aroeira-vermelha, aroeira-mansa);
- *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f.ex S. Moore (Ipê-amarelo);
- *Tabernaemontana hystrix* Steud. (Leiteiro, leiteiro-jasmim, leiteiro-do-campo);
- *Terminalia glabrescens* Mart. (Amarelinho, capitão-do-campo).

Deverão ser abertas covas de dimensão e profundidade de 40 x 40 cm e durante o plantio deverá ser incorporado ao solo do fundo da cova o adubo mineral granulado Superfosfato Simples (concentração de 17% a 21% de P₂O₅ (fósforo), além de aproximadamente 11% de Enxofre (S) e 18% de Cálcio (Ca)) numa dose de 50 g/planta e composto orgânico numa dose de 150 g/planta. Também deverá ser aplicada uma solução de polímero hidrorretentor (hidrogel) numa quantidade de 500 ml/planta. A aplicação destes insumos deve ser realizada nas proximidades das raízes das plantas, atentando para que o hidrogel esteja em contato direto com as mesmas e que o adubo mineral e o composto orgânico estejam mais afastados e incorporados ao solo. Após o plantio, as mudas devem ser irrigadas, dando-se preferência para horários no início da manhã ou no fim da tarde.

A localização do plantio das mudas arbóreas está representada nos Desenhos 1 e 4 (trecho 1) e Desenhos 5 e 10 (trecho 10). O quantitativo de materiais está descrito no ANEXO I.

5.2.8 Semeadura

As áreas adjacentes impactadas por atividades relacionadas com a execução da obra devem ser recuperadas. Desta forma, deve ser realizada a semeadura com espécies herbáceas para promover o revestimento e proteção superficial do solo, evitando a ocorrência de erosão laminar. Deverá ser utilizado um mix de sementes de espécies autóctones composto por gramíneas e leguminosas forrageiras de porte baixo, alta rusticidade, diversificado tempo de germinação e características vegetativas que permitam a rápida cobertura do solo. A densidade de semeadura deverá ser de 50 g/m². As espécies herbáceas autóctones constituintes da semeadura deverão ser as seguintes:

- *Arachis repens* Handro (Amendoim-forrageiro);
- *Axonopus affinis* Chase (Gramma-jesuíta, grama São Carlos);
- *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv. (Gramma-jesuíta, grama São Carlos);
- *Paspalum notatum* Flüggé (Gramma-batatais, grama-forquilha, grama-pensacola);
- *Stylosanthes capitata* Vogel (Estilosantes);

Salienta-se a importância de não trocar as espécies selecionadas por espécies exóticas que poderão invadir e colonizar de forma agressiva áreas adjacentes, causando problemas futuros.

5.3 Serviços finais

No final da intervenção devem ser retirados todos os materiais não pertencentes à obra, tais como restos de madeira, metais, plásticos, bandejas e outros. Os acessos devem ser recuperados, assim como áreas impactadas por atividades relacionadas com a execução da obra.

Na área 2 deverá ser realizada a terraplanagem de solo nas duas margens para espalhar o material excedente de modo uniforme, evitando criar linhas de fluxo preferencial que direcionem o escoamento superficial para os muros de suporte vivo. Posteriormente deve ser feita a semeadura das áreas impactadas, conforme descrito no item 5.2.8.

Deverá ser feita a remoção das barreiras de sedimentos instaladas junto às passagens hidráulicas.

No final da intervenção deverão ser colocadas placas educativas nos dois trechos. As placas educativas têm como objetivo divulgar o Programa de drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos para a UGRHI 13. Deverão constar informações sobre o PDSRR e seus objetivos, Soluções Baseadas na Natureza, técnicas de Engenharia Natural, fotografias das áreas antes da intervenção e desenhos esquemáticos de projeto.

6. PRODUÇÃO DE MUDAS

Na elaboração do projeto foi dada prioridade para a vegetação de pequeno e médio porte que não contribuam para o aumento da sobrecarga nos taludes fluviais e promovam a proteção e estabilização do mesmo, além de aumentar a rugosidade superficial do solo, diminuindo a velocidade do escoamento. As espécies arbóreas foram especificadas apenas para as áreas planas da APP. As espécies foram selecionadas por serem autóctones da região e estarem adaptadas às condições climáticas e edáficas do local de intervenção. As espécies e respectivas quantidades a serem utilizadas nas intervenções estão elencadas na Tabela 9.

Tabela 9. Espécies autóctones a serem utilizadas nas intervenções de Engenharia Natural nos trechos de intervenção.

PORTE	NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	Trecho 1	Trecho 2	TOTAIS	
ARBUSTIVO	<i>Allamanda cathartica</i> L.	Alamanda-amarela, dedal-de-princesa	200	224	424	10008
	<i>Brunfelsia uniflora</i> (Pohl). D. Don	Manacá-de-cheiro, manacá-de-jardim	524	674	1198	
	<i>Calliandra brevipes</i> Benth.	Caliandra-rosa, esponja, topete-de-cardeal	524	674	1198	
	<i>Calliandra tweedii</i> Benth.	Caliandra-vermelha, arbusto-chama	324	450	774	
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitangueira, pitanga	524	674	1198	
	<i>Gymnanthes schottiana</i> Müll.Arg	Sarandi, sarandi-vermelho	524	674	1198	
	<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schtdl.	Veludinho-do-brejo, jasmim-do-uruguai	324	450	774	
	<i>Iochroma arborescens</i> (L.) J.M.H. Shaw	Fruta-do-sabiá, mariana, marianeira	524	674	1198	
	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb	Fedegoso-gigante, mata-pasto, candelabro	324	450	774	
	<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby	Fedegoso, pau-fava, aleluia	200	224	424	
	<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Fedegoso, café-negro, mata-pasto	200	224	424	
	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Poir.	Feijão-mato, sesbania, feijãozinho	200	224	424	
HERBÁCEO	<i>Arachis repens</i> Handro	Amendoim-forrageiro	900	1008	1908	3816
	<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	Margaridão, mal-me-quer	900	1008	1908	
ARBÓREO	<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong.) Steud.	Pata-de-vaca	5	11	16	240
	<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá-de-metro, ingá-doce	5	11	16	
	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Ingá-mirim, inga-chichi, ingá-branco	5	11	16	
	<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá-banana	5	11	16	
	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	Dedaleira-amarela, mangaba-brava	5	11	16	
	<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	Açoita-cavalo, fruta-de-cavalo	5	11	16	
	<i>Magnolia ovata</i> (A.St.-Hil.) Spreng.	Pinha-do-brejo, fruta-de-pau, baguaçu	5	11	16	
	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G.Sancho	Cambará	5	11	16	
	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	Pitanga-do-mato, camboí, camboí-bravo	5	11	16	
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Vinhático	5	11	16	
	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Almecegueira, amescla-de-cheiro	5	11	16	
	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Aroeira-vermelha, aroeira-mansa	5	11	16	
	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f.ex S. Moore	Ipê-amarelo	5	11	16	
	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	Leiteiro, leiteiro-jasmim, leiteiro-do-campo	5	11	16	
	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	Amarelinho, capitão-do-campo	5	11	16	

Nos projetos de Engenharia Natural não devem ser utilizadas espécies exóticas. A utilização de espécies autóctones da região, além de favorecer a recuperação ambiental do local, também favorece o início do processo de sucessão ecológica e aumenta a biodiversidade da flora e da fauna, por meio da criação de nichos e fontes de alimento. Espécies autóctones também estão mais adaptadas às condições edafoclimáticas do local e são resistentes a eventuais danos que possam ocorrer, pois apresentam capacidade de se regenerar, garantindo uma maior chance de sucesso do processo de restauração ecológica. Neste sentido, foram especificadas diversas espécies autóctones da região, de forma a que se faça o acompanhamento do desenvolvimento da vegetação nas intervenções para avaliação de quais espécies apresentam melhores taxas de adaptação e desenvolvimento a campo. Com base nessas avaliações, em projetos futuros algumas espécies poderão ser descartadas e outras incluídas.

As mudas devem ser produzidas no Jardim Botânico Municipal de Bauru, seguindo os mesmos procedimentos que são adotados para a produção de outras espécies florestais. As mudas deverão ter porte e rusticidade considerados adequados para a sua sobrevivência e desenvolvimento a campo, garantindo assim o sucesso das intervenções realizadas. As mudas devem ser produzidas preferencialmente a partir de sementes, estolões ou estacas coletadas de plantas matrizes na região ou provenientes de outros viveiros próximos. Sempre que possível, os propágulos vegetais devem ser coletados de vários indivíduos, de modo a favorecer a variabilidade genética das mudas e consequentemente o sucesso das intervenções em que serão plantadas.

A produção de mudas deverá ser a primeira atividade a ser executada. É importante que essa atividade seja iniciada entre 6 e 8 meses antes da execução das obras. Essa antecedência irá garantir que as mudas produzidas tenham o porte adequado e a rusticidade necessária para a sua sobrevivência e desenvolvimento a campo, garantindo assim maiores taxas de sucesso das intervenções a serem executadas. Caso ocorra dificuldade na produção de alguma das espécies indicadas, poderão ser realizados ajustes nas quantidades previstas. Os ajustes deverão ser realizados entre a equipe de produção do Jardim Botânico em conjunto com a equipe projetista.

Na Tabela 10 estão elencadas as espécies a serem utilizadas em cada técnica de intervenção.

Tabela 10. Espécies autóctones a serem utilizadas em cada técnica de intervenção.

Espécie	Técnicas de intervenção				
	Muro de suporte	Enrocamento vivo	Plantio arbustivas	Plantio herbáceas	Plantio arbóreas
<i>Allamanda cathartica</i>			✓		
<i>Brunfelsia uniflora</i>	✓	✓	✓		
<i>Calliandra brevipes</i>	✓	✓	✓		
<i>Calliandra tweedii</i>	✓	✓			
<i>Eugenia uniflora</i>	✓	✓	✓		
<i>Gymnanthes schottiana</i>	✓	✓	✓		
<i>Guettarda uruguensis</i>	✓	✓			
<i>lochroma arborescens</i>	✓	✓	✓		
<i>Senna alata</i>	✓	✓			
<i>Senna macranthera</i>			✓		
<i>Senna occidentalis</i>			✓		
<i>Sesbania virgata</i>			✓		
<i>Arachis repens</i>				✓	
<i>Sphagneticola trilobata</i>				✓	
<i>Bauhinia longifolia</i>					✓
<i>Inga edulis</i>					✓
<i>Inga laurina</i>					✓
<i>Inga vera</i>					✓
<i>Lafoensia pacari</i>					✓
<i>Luehea grandiflora</i>					✓
<i>Magnolia ovata</i>					✓
<i>Moquiniastrum polymorphum</i>					✓
<i>Myrcia multiflora</i>					✓
<i>Plathymenia reticulata</i>					✓
<i>Protium heptaphyllum</i>					✓
<i>Schinus terebinthifolia</i>					✓
<i>Tabebuia aurea</i>					✓
<i>Tabernaemontana hystrix</i>					✓
<i>Terminalia glabrescens</i>					✓

O nome científico e a distribuição geográfica na região de todas as espécies especificadas neste projeto foram confirmadas no site oficial do Programa Re flora/CNPq nas plataformas de trabalho Herbário Virtual Re flora (<http://reflora.jbrj.gov.br/>).

7. MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

O Município de Bauru por meio de equipe das Secretarias Municipais de Obras (SMO) ou de Meio Ambiente (SEMMA) deverá realizar o monitoramento das áreas de intervenção para verificar a evolução das obras de mitigação dos processos erosivos atuantes, nomeadamente o comportamento das estruturas físicas e o desenvolvimento da vegetação implementada nas técnicas.

7.1 Monitoramento

Nos primeiros 6 meses deverão ser realizadas visitas mensais à obra e a partir dessa fase poderão ser realizadas visitas trimestrais até pelo menos ao fim dos dois primeiros anos. Durante as visitas deverão ser realizadas fotografias a partir de pontos fixos de forma a acompanhar a evolução das intervenções ao longo do tempo. No Quadro 1 está representado o cronograma mensal das atividades de monitoramento a serem realizadas nos primeiros 24 meses.

7.2. Manutenção

As atividades de manutenção têm como objetivo garantir a eficiência das técnicas de intervenção e a taxa de sobrevivência da vegetação autóctone implantada. Deverão ser executadas manutenções periódicas das soluções implantadas, sempre que necessário, durante os primeiros 24 meses após conclusão das obras. A manutenção deverá ser preferencialmente realizada pela empresa executante da obra.

No final do período de manutenção, a empresa executante deverá garantir o atendimento do critério de 80% de taxa de sobrevivência do total de plantas implementadas com as intervenções.

Uma vez que a obra deve ser executada durante a época seca as tarefas de manutenção deverão incluir irrigações diárias durante a fase de execução da obra e irrigações semanais durante os primeiros 6 meses após conclusão das intervenções ou até iniciar o período chuvoso, de forma a garantir a sobrevivência da vegetação implantada e consequentemente o sucesso das técnicas de Engenharia Natural. Além disso, deverá ter-se especial atenção ao controle de formigas cortadeiras e reposição de mudas sempre que ocorrer perda de material vegetal acima de 20%. Também deverão ser arrancados todos os exemplares da espécie

exótica leucena sempre que se observarem brotações, de modo a favorecer o desenvolvimento das mudas autóctones implantadas.

A manutenção inclui as tarefas de irrigação, reforço com material vegetativo nas áreas com baixa taxa de sobrevivência do material vegetal (abaixo dos 80%), adensamentos com mudas, reparos em dispositivos transversais para controle do regime hidráulico, correções no declive, se necessário, controle de espécies invasoras e aplicação de formicida em caso de infestação. Além disso, deverá ser verificada a integridade estrutural do enrocamento e do muro de suporte vivo e, se necessário, proceder a reparações.

Também deverá ser realizada uma adubação de cobertura, trimestralmente, constituída pela aplicação de composto orgânico (500 g/m²) e adubo mineral granulado Superfosfato Simples (300 g/m²) nas áreas de intervenção.

No Quadro 1 está representado o cronograma mensal das atividades de manutenção a serem realizadas nos primeiros 24 meses.

Quadro 1. Cronograma das atividades de monitoramento e de manutenção.

ATIVIDADES	MESES																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Monitoramento																								
Manutenção	★	★	★	★	★	★																		

★ Atividades de manutenção semanal a serem executadas durante a época seca.

Após o período de 2 anos deverá ser avaliada a campo a necessidade de realização de tarefas de monitoramento e/ou manutenção. Uma vez que os trechos estão localizados em área urbana, atividades como realização de podas (arbustos e árvores), corte (roçada) de herbáceas e limpeza de banco de sedimentos poderão ser necessárias.

8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

As atividades de execução da obra devem ser realizadas no período de estiagem (Outono e Inverno). A obra deverá ser desenvolvida ao longo de 15 semanas incluindo todas as tarefas a serem realizadas. No desenvolvimento das atividades relacionadas à execução das técnicas de Engenharia Natural estão incluídas as atividades de maquinário necessárias.

No Quadro 2 está representado o cronograma semanal das atividades de execução das intervenções de Engenharia Natural para os dois trechos.

Quadro 2. Cronograma de execução dos serviços previstos para os trechos de intervenção.

ATIVIDADES	SEMANA														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TRECHO 1															
Serviços iniciais (remoção vegetação, limpeza do canal, terraplenagem, etc.)															
Enrocamento															
Muro de suporte vivo															
Plantio de mudas (arbustivas, herbáceas e arbóreas)															
Semeadura															
Serviços finais															
TRECHO 2															
Limpeza do trecho canalizado a montante do Trecho 2															
Serviços iniciais (remoção vegetação, limpeza do canal, terraplenagem, etc.)															
Enrocamento															
Muro de suporte vivo															
Plantio de mudas (arbustivas, herbáceas e arbóreas)															
Semeadura															
Serviços finais															

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto foram descritos e caracterizados os fenômenos relacionados aos processos erosivos atuantes nos dois trechos de intervenção localizados no Córrego Água do Sobrado no município de Bauru (SP). Foram dimensionadas e descritas, em caráter executivo, as soluções técnicas de Engenharia Natural especificadas para mitigar, corrigir e prevenir os processos erosivos ativos no local.

Este projeto básico-executivo através da introdução de técnicas de Engenharia Natural tem como objetivos a revitalização dos trechos de intervenção, o restabelecimento da resiliência local, a estabilização dos taludes fluviais e a mitigação dos processos erosivos.

Para compor as soluções de Engenharia Natural foi especificado um conjunto de espécies autóctones da região de intervenção. Para atender às necessidades do projeto, a produção das mudas necessárias para a execução da obra deve ser iniciada com a maior brevidade. As tarefas de manutenção pós-obra são essenciais para o êxito das intervenções projetadas

para o local, principalmente devido ao estabelecimento e desenvolvimento da componente vegetativa na fase inicial.

Este projeto é composto por vários documentos que devem ser alvo de uma análise detalhada antes da execução das intervenções. Nos documentos apresentados, memória de cálculo, pranchas com desenhos e detalhes técnicos e lista de quantidades, são apresentadas informações complementares entre si. Destaca-se que qualquer modificação nas espécies vegetais, no tipo ou quantidade de materiais, nos arranjos técnicos, ou outro tipo de alteração deverá ser comunicada previamente à equipe projetista.

10. RELAÇÃO DE DOCUMENTOS

Assim como este Memorial Descritivo/Memorial de Cálculo, fazem parte do Projeto Básico-Executivo os seguintes Anexos:

ANEXO I – Quantitativo de materiais e insumos necessários para execução dos serviços

ANEXO II – Orçamento

ANEXO III – Anotação de Responsabilidade Técnica – ART

ANEXO IV – Resultados dos ensaios de solo (química e física)

Desenho 1: Trecho 1 – Localização planialtimétrica das intervenções

Desenho 2: Trecho 1 – Perfil longitudinal e perfis transversais

Desenho 3: Trecho 1 – Detalhes perfis transversais

Desenho 4: Trecho 1 – Detalhes executivos

Desenho 5: Trecho 2 – Localização planialtimétrica das intervenções

Desenho 6: Trecho 2 – Perfil longitudinal e perfis transversais

Desenho 7: Trecho 2 – Perfis transversais

Desenho 8: Trecho 2 – Detalhes perfis transversais

Desenho 9: Trecho 2 – Detalhes perfis transversais

Desenho 10: Trecho 2 – Detalhes executivos

11. BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

CAMARGO, M. N.; KLANT, E. S.; KAUFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Separata do B. Inf.**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 12, n. 1, p. 11–33, 1987.

CBH-TJ. **Plano da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré - Relatório I**. Araraquara: Governo do Estado de São Paulo, Fundo Estadual de Recursos Hídricos, Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê - Jacaré, 2016.

CHAUDHRY, M. H. **Open-Channel Flow**. USA: Springer Science & Business Media, 2008.

CHOW, V. T. **Open-channel Hydraulics**. USA: Blackburn Press, 2009.

DAE. **Plano Diretor de Água do Município de Bauro/SP - Volume 01 - Diagnóstico qualitativo, quantitativo, técnico e operacional do sistema existente: TOMO III – Levantamento de dados sobre os mananciais superficiais**. Bauru: Departamento de Água e Esgoto de Bauru - DAE, 2014.

DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização, 2005.

DEWES, J.; SOUSA, R.; SUTILI, F. Execução de soleiras vegetadas para correção das condições hidráulicas de um canal de drenagem: Estudo de Caso. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 529–540, 2018.

DURLO, M.; SUTILI, F. **Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água**. 3ª ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos, 2017.

FERNANDES, J.; FREITAS, A. **Introdução à Engenharia Natural**. Portugal: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 717–728, 2000.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle Size Analysis. Em: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. SSSA. 2. ed. Madison, WI: American Society of Agronomy, 1986. v. 9p. 383–411.

IBGE. **Bauru (SP)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/bauru.html>>. Acesso em: 16 set. 2024.

INMET. **Histórico de Dados Meteorológicos: Dados Anuais (Bauru A705)**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 13 set. 2024.

KETTENHUBER, P. L. W. et al. Performance assessment of a soil and water bioengineering work on the basis of the flora development and its associated ecosystem processes. **Ecological Engineering**, v. 186, p. 106840, 2023.

MAYER, R. **Noções de hidráulica florestal - Direção Geral dos Serviços Florestais Aquícolas**. Alcobaça: Tipografia Alcobacense, 1941.

NJDA. **The Standards for Soil Erosion and Sediment Control In New Jersey**. New Jersey. New Jersey Department of Agriculture - State Soil Conservation Committee, , 2014.

PERROTTA, M.; SALVADOR, E. **Mapa geológico do estado de São Paulo - Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no Estado de São Paulo**, 2005. Accepted: 2014-10-10T16:04:10Z.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. 11^a ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2008.

PORTO, R. **Hidráulica básica**. 4^a ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2006.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos: Método de I-PAI-WU**. São Paulo Secretaria de Vias Públicas: Superintendência de Projetos e de Obras, , 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU. **Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru - SP - Relatório Final - Volume de texto**. Bauru: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Bauru, 2008.

REFLORA. **Flora e Funga do Brasil - Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit**. Disponível em: <<https://reflora.jbrj.gov.br/reflora>>. Acesso em: 17 set. 2024.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC-USP, 1998.

SALOMÃO, F. X. DE T. **Processos erosivos lineares em bauru (sp): regionalizacao cartografica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. Doutorado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

SARDINHA, A. M.; MACEDO, F. W. **Hidráulica Florestal**. Vila Real: Instituto Universitário de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1981.

SCHIECHTL, H. **Bioengineering for land reclamation and conservation**. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press, 1980.

SIGRH. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré - CBH-TJ**. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>>. Acesso em: 12 set. 2024.

SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. Dissertação de Mestrado—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SOUSA, R. S. **Metodologia para planejamento e controle da produção para obras de Engenharia Natural**. Tese de Doutorado—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2019.

SOUSA, R. S. et al. Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. **Scientia Vitae**, v. 9, n. 27, p. 1–13, 2020.

SOUSA, R. S.; MAFFRA, C. R. B.; SUTILI, F. J. Engenharia Natural para estabilização de travessia dutoviária - Caso 1. **Ciência & Ambiente**, v. 46/47, p. 131–152, 2017.

SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J. Aspectos Técnicos das Plantas utilizadas em Engenharia Natural. **Ciência & Ambiente**, v. 46/47, p. 31–71, 2017.

SUBRAMANYA, K. **Flow in Open Channels**. 4. ed. New Delhi: McGraw-Hill Education India, 2015.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

ANEXO I

QUANTITATIVO DE MATERIAIS

ANEXO II

ORÇAMENTO

ANEXO III

ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

ANEXO IV

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SOLO