



**Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"**

Programa Interunidades

unesp 

Doutorado

Engenharia Civil e Ambiental

ROSIANE ARGENTON E SILVA

**Concepção e avaliação de técnicas de revitalização de trechos de cursos
d'água urbanos com leitos concretados**

Bauru
2020



Rosiane Argenton e Silva

Concepção e avaliação de técnicas de revitalização de trechos de cursos d'água urbanos com leitos concretados

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (UNESP) como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil e Ambiental.
Área de Concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Assoc. Alexandre Marco da Silva.



Bauru
2020

S586c Silva, Rosiane Argenton e
Concepção e avaliação de técnicas de revitalização de trechos de cursos d'água urbanos com leitos concretados / Rosiane Argenton e Silva. -- Bauru, 2020
105 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru
Orientador: Alexandre Marco da Silva

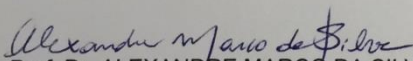
1. Revitalização de Córregos Urbanos. 2. Rios Concretados. 3. Sorocaba. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ROSIANE ARGENTON E SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 31 dias do mês de julho do ano de 2020, às 08:30 horas, no(a) Via Sistema de videoconferência e outras ferramentas de comunicação a distância, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Prof. Dr. ADRIANO EVANDIR MARCHELLO do(a) Centro de Ciências da Saúde / Centro Universitário do Sagrado Coração - Unisagrado, Prof^a. Dr^a ANA ADELINA DE OLIVEIRA AFONSO do(a) Unidade Sorocaba / Companhia Ambiental Paulista - CETESB, Prof^a. Dr^a. ANA PAULA MONI SILVA do(a) Instituto de Recursos Naturais - IRN / Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Prof. Dr. FABIO LAURINDO DA SILVA do(a) Departamento de Zoologia / Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de ROSIANE ARGENTON E SILVA, intitulada **CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE TRECHOS DE Córregos Urbanos com Leito Concretado em Sorocaba (SP)**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA

 Prof. Dr. ADRIANO EVANDIR MARCHELLO

 Prof^a. Dr^a ANA ADELINA DE OLIVEIRA AFONSO

 Prof^a. Dr^a. ANA PAULA MONI SILVA

 Prof. Dr. FABIO LAURINDO DA SILVA



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
JÚLIO DE MESQUITA FILHO
Campus de Bauru



PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:
ROSIANE ARGENTON E SILVA

DE: "CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE TRECHOS DE CÓRREGOS
URBANOS COM LEITO CONCRETADO EM SOROCABA (SP)".

PARA:

*Concepção e avaliação de técnicas de revitalização de trechos de cursos
d'água urbanos com leitos concretados*

Bauru, 31 de julho de 2020.

Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva
Orientador

Agradecimentos

Desafio tão grande durante quase cinco anos foi escrever esta tese. Tenho certeza de que isso só foi possível, pois estive sempre cercada de pessoas incríveis que me apoiaram e me incentivaram.

Agradeço imensamente e todos os dias, aos meus pais por sempre acreditarem em mim e por me incentivarem incondicionalmente durante toda a minha vida: - Sem vocês nada disso seria possível. Obrigada!

Ao meu orientador Professor Alexandre, eu agradeço por todos os momentos em que me apoiou e me aconselhou. Foi meu orientador, conselheiro e amigo. Com certeza levarei todo esse aprendizado para minha jornada.

Esta pesquisa jamais seria possível sem a ajuda das minhas queridas amigas Beatriz e Gabriela, que acordaram em tantas manhãs de sábados para as coletas e análises. Foram momentos difíceis, mas cheios de alegria e bons momentos com vocês.

Em especial, agradeço minha amiga Kristiane, sem a qual eu não teria chegado até aqui. Obrigada por todos os dias de coleta, por todas as contribuições acadêmicas, por não ter me deixado desistir e por toda nossa amizade.

Aos professores Maria Lucia Pereira Antunes da Silva e Sandro Donnini Mancini, do Departamento de Engenharia Ambiental do ICT de Sorocaba – UNESP, por permitirem o uso compartilhado do laboratório do Grupo de Pesquisas “Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas” – NATEL.

Ao pessoal do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sorocaba pela concessão de realização do projeto nos córregos que estão sob a responsabilidade de gestão desta instituição.

À FAPESP, pelo apoio financeiro concedido para aquisição de alguns equipamentos e materiais de consumo em campo e em laboratório. Projeto modalidade “Apoio à Pesquisa” intitulado: Recuperação ambiental: tecnologias para solução de problemas de degradação ambiental de larga, média e pequena escalas. Processo FAPESP: 2015/20560-6).

Esta pesquisa envolveu muitas pessoas importantes e queridas, as quais devo o meu muito obrigado: - Vocês todos me deram a coragem e a força para chegar até o fim!

*"Was immer du tun kannst oder zu können glaubst, fang an.
In der Kühnheit liegt: Genie, Kraft und Magie". (Johann
Wolfgang Goethe)*

*"Seja qual for o seu sonho, comece. Ousadia tem genialidade,
poder e magia."*

Título: Concepção e avaliação de técnicas de revitalização de trechos de cursos d'água urbanos com leitos concretados

Candidata: Bióloga Msc. Rosiane Argenton e Silva

Orientador: Professor Associado Alexandre Marco da Silva

Resumo - Projetos de revitalização de córregos urbanos estão sendo timidamente pensados no território brasileiro, onde praticamente nada ainda foi executado, havendo grande demanda para projetos que colaborem para melhorar a qualidade ecológica dos rios urbanos. O objetivo deste projeto foi desenvolver e avaliar alternativas paisagísticas de baixo custo e ecologicamente adequadas que auxiliem o curso d'água a restabelecer condições ecológicas e paisagísticas locais. Para isso foram desenvolvidas técnicas, utilizando a bioengenharia e materiais como a brita, saco de juta, tela plástica e tule. Essas formaram as “salsichas”, que foram usadas em diferentes ambientes. Os locais da pesquisa foram trechos de córregos de pequeno porte localizados na região urbanizada do município de Sorocaba. Três trechos de córregos com potencial para instalação das ações restauradoras foram selecionados, sendo um situado no meio de uma avenida com movimentação média de veículos e outros dois em locais com adensamento residencial intenso. O projeto foi dividido em duas fases, uma de monitoramento, com duração de um ano, pré-intervenções e a segunda fase, de mesma duração, pós-realização das intervenções. As intervenções localizadas no segundo rio não conseguiram resistir a todo período do projeto. No entanto, se mantiveram nos outros rios e mostraram retenção de resíduos sólidos, conseqüentemente melhoria, mesmo que pequena, da qualidade da água. A intervenção realizada em forma de barragem se mostrou eficiente na retenção de resíduos sólidos de grande, pequeno e médio porte, fato que também

ocorreu na intervenção feita no rio 1 (R1), onde o crescimento rápido de plantas fez com que esse mesmo tipo de resíduo ficasse retido.

Palavras-chave: Revitalização de Córregos Urbanos, Rios Concretados, Sorocaba.

Title: Conception and evaluation of techniques for revitalizing stretches of urban water courses with concrete beds

Candidate: Biologist MSc Rosiane Argenton e Silva

Advisor: Associate Professor Alexandre Marco da Silva

ABSTRACT - Projects to revitalize urban streams have been timidly idealized in the Brazilian territory, where practically nothing has been done yet, and there is a great demand for projects that collaborate on improving the ecological quality of urban rivers. The objective of this project was to develop and evaluate low-cost and ecologically appropriate landscape alternatives that will help the watercourse restore ecological and local landscape conditions. For that, new techniques were developed using bio engineering and materials such as gravel, jute bag, plastic screen, and tulle. These formed the “sausages” which were used in these different environments and in more than one position. The research sites were stretches of small streams located in the urbanized region of Sorocaba. Three stretches of streams with potential for installation of restorative actions were selected, one located in the middle of an avenue with medium traffic and two in places with intense residential density. The project was divided into two phases, one of monitoring, with a duration of one year, pre-interventions, and the second phase, with the same duration, after the interventions were carried out. The interventions located on the second river could not withstand the whole project period, however, in the other rivers, these were maintained and showed solid waste retention, consequently improving, even in a low, water quality. The intervention performed in the form of a dam proved to be efficient in the retention of solid wastes of small and medium-size, a fact that also occurred in the intervention made in R1, where the rapid growth of plants made that same type of residue to be retained.

Key-words: Urban streams revitalization. Concreted bed rivers. Sorocaba

Sumário

1	Introdução.....	1
2.	Justificativa.....	5
3.	Hipótese.....	7
4.	Objetivos	8
	Geral.....	8
	Específicos	8
5.	Revisão Bibliográfica.....	9
	5.1. Recursos Hídricos e Degradação	9
	5.2. A água e as áreas urbanizadas	16
	5.3. Parâmetros de qualidade da água.....	18
	5.4. Recuperação e Restauração	23
	5.5. Recuperação e Restauração de córregos	25
	5.6. Trabalhos sobre recursos hídricos desenvolvidos na área de estudo	28
	5.7. Análise SWOT.....	30
6.	Procedimentos Metodológicos	31
	6.1. Caracterização do local de estudo.....	33
	6.2. Determinação dos locais para desenvolvimento do projeto	36
	6.3. Caracterização do local e da microbacia de cada trecho.....	38
	6.4. Coletas de informações e amostras <i>in situ</i>	41
	6.5. Coletas de informações e análises <i>ex situ</i> das amostras.....	42
	6.6. Caracterização hidrológica (coleta de informações e cálculos)	43
	6.7. Planejamento e Execução das Intervenções.....	46

6.8. Análise das respostas dos sistemas após a execução e implantação das intervenções	53
6.9. Análise SWOT.....	55
7. Resultados	56
7.1. Aspectos gerais.	56
7.2. Análises estatísticas das variáveis eco hidrológicas	60
7.3. Análise SWOT.....	67
8. Discussão.....	69
9. Considerações Finais	80
10. Referências Bibliográficas	83

Lista de Figuras

Figura 1: A água e sua relação com a sociedade	1
Figura 2: Esquema ilustrativo de bacia hidrográfica mostrando o divisor de água (cume), os principais cursos d'água, aspectos do relevo e da cobertura da terra	9
Figura 3: Relações entre a ocupação das terras e a dinâmica de um curso d'água superficial, linear e sinuoso.....	13
Figura 4: Exemplificação da zona hiporreica de um trecho de um curso d'água.....	15
Figura 5: Restauração da continuidade do rio em uma estrutura de queda existente (esquerda), ignorando-a através de um novo curso de água (direita).	28
Figura 6: Categorização das respostas obtidas a partir da pergunta: “Qual o seu grau de preocupação com os problemas relacionados ao córrego?.....	30
Figura 7: Fluxograma da etapas do trabalho.	32
Figura 8: Bacia Hidrográfica Sorocaba/Médio Tietê (SIGRH, 2017).	33

Figura 9: Malha hidrográfica do município de Sorocaba em 2016.....	34
Figura 10: Sazonalidade da chuva e da temperatura.....	35
Figura 11: Mapa de cobertura da terra para o município de Sorocaba referente ao ano de 2016.....	36
Figura 12: Localização do R1.....	37
Figura 13: Localização do R2.....	37
Figura 14: Localização do R3.....	38
Figura 15: Mapas de cobertura (colunas à esquerda) e foto de cada trecho sob investigação. De cima para baixo: trecho/microbacia: R1, R2 e R3.	40
Figura 16: Pontos de coletas.....	41
Figura 17: Perfil longitudinal do córrego.....	43
Figura 18: Ilustração de marcação do trecho do córrego	44
Figura 19: Saco de juta preenchido com brita..	47
Figura 20: Corte transversal do R1 com a presença dos sacos de juta.....	47
Figura 21: Vista superior das intervenções no R1.	47
Figura 22: Intervenções realizadas no R1.	48
Figura 23: Corte transversal das “salsichas”..	48
Figura 24: Salsichas (R2) ainda em fase de construção no Campus.	49
Figura 25: Corte transversal do R2 com as intervenções.	49
Figura 26: Vista superior da intervenção no R2.	50
Figura 27: Intervenções realizadas no córrego R2.....	50
Figura 28: Intervenções realizadas no córrego R3.....	51
Figura 29: Corte transversal da barragem.	51
Figura 30: Corte transversal das intervenções no R3.....	52

Figura 31: Vista superior das intervenções no R3.	52
Figura 32: Barragem em construção.	52
Figura 33: Detalhe das intervenções do tipo “salsicha” no córrego R3.....	53
Figura 34: Categorização das respostas obtidas a partir da pergunta: “Qual sua opinião sobre a atividade? ”.....	56
Figura 35: Crescimento de vegetação pós-intervenção no rio 1.....	57
Figura 36: Pouca ou nenhuma retenção de resíduos pós-intervenção no rio 2..	58
Figura 37: Retenção de sedimentos e/ou sólidos grosseiros pós-intervenção no rio 3... ..	59
Figura 38: Intervenção R1. Foto tirada em 24/02/2018.	72
Figura 39: Intervenção R2. Foto tirada em 24/02/2018.	73
Figura 40: R2 em dezembro de 2018.....	74
Figura 41: Intervenção R3. Foto tirada em 24/02/2018	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área total (em hectares e porcentagem) de cada categoria de cobertura da terra de cada microbacia a montante do local sob investigação.	39
Tabela 2: Análise das médias das variáveis	66
Tabela 3: Matriz Swot.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): condutividade elétrica.	60
Gráfico 2: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1):oxigênio dissolvido.....	61

Gráfico 3: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R2):oxigênio dissolvido.....	61
Gráfico 4: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3):oxigênio dissolvido.....	62
Gráfico 5: Teste t de student: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1): pH.....	62
Gráfico 6: Teste t de student: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): pH.....	63
Gráfico 7: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): salinidade.....	63
Gráfico 8: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1):Sólidos sedimentáveis.....	63
Gráfico 9: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): turbidez.....	64

Lista De Anexos

Anexo II: ficha de coleta.....	97
Anexo II: Datas e horários das coletas.....	98
Anexo III: Análises estatísticas em que não houve diferenças significativas.....	101

1 Introdução

Desde o início das civilizações, a água tem sido tema central. Não só pela sua função paisagística, mas principalmente porque todo o desenvolvimento humano se deu ao entorno de um grande rio, sendo esse desenvolvimento agrícola, industrial ou apenas para subsistência. Além disso, o crescimento populacional e a elevação do padrão de vida também sempre estiveram intimamente ligados ao uso e à dependência dos recursos hídricos. Esse uso intenso e em sua grande maioria, sem controle, acarreta um impacto direto na qualidade da água (Figura 1).



Figura 1: A água e sua relação com a sociedade. Esquema elaborado pela autora.

Para Tanaka et al. (2015) a avaliação dos efeitos antropogênicos e as características dos cursos d'água e seus fatores indicam a qualidade da água. Apesar disso, fatores físico-químicos nem sempre são precisos por um longo período, sendo fatores biológicos mais eficazes para tal. Geralmente, a restauração de ambientes aquáticos é complexa, quando comparada a outros ecossistemas. Isso se deve ao fato de esses ambientes serem influenciados por diversos fatores como os físicos (SARKER et al., 2020).

Em seu estado “natural” um rio é um sistema complexo que está em constante mudança morfológica, geomorfológica e ecológica. As principais mudanças são então devidas às perturbações no seu fluxo e ao movimento de sedimentos em diversos sentidos (GURNELL et al., 2007).

Pensando em um contexto brasileiro, é sabido que, de acordo com a previsão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o ano de 2047 estima-se que a população brasileira ultrapassará 233 milhões de habitantes (IBGE, 2018), sendo em 2020 de aproximadamente 210 milhões de habitantes (IBGE, 2000). Isto mostra um aumento de aproximadamente 10% em relação à população atual. Aliado ao aumento significativo da população, temos um aumento na demanda de água intensificado pelo incremento no consumo específico de água por habitante por dia. Fato este evidenciado por mudanças naturais nos costumes e hábitos da população. É possível verificar situações desencadeadas na Bacia Hidrográfica devido à urbanização no contexto da oferta de água de qualidade. As cidades brasileiras possuem um modelo de urbanização que, em sua grande maioria, modifica os componentes do ciclo hidrológico, gerando consequências impactantes aos cursos d’água. A maior parte dos rios urbanos é utilizada para transporte de efluentes e drenagem do excesso de chuva (RIGOTTI; POMPEO, 2011). Outro fator, pouco estudado e que causa grande impacto no cenário hidrológico é o efeito das mudanças climáticas globais no futuro (BERTILSSON et al., 2019).

Os trechos urbanos dos cursos d’água muitas vezes apresentam parâmetros de qualidade de água inferiores aos padrões estabelecidos pelos órgãos competentes, sendo que a população pode entrar em contato direto com esta água de baixa qualidade durante eventos de inundação, correndo o risco de adquirir doenças de veiculação hídrica. Ainda, investimentos em tecnologias e gastos com insumos, nas etapas do tratamento da água, para fornecer água potável à população poderiam ser evitados ou, reduzidos, com a captação de água com parâmetros físico-químicos e biológicos mais próximos daqueles exigidos pela legislação. Em contrapartida, estes recursos financeiros poderiam ser investidos na própria área da unidade de gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, por meio de obras de manejo hídrico, que garantiriam inúmeros benefícios à população. Daí a importância de um estudo de revitalização de córregos urbanos como uma ferramenta de auxílio à gestão dos recursos hídricos.

Mudança de fluxo, alterações de temperatura, aumento na concentração de nutrientes e poluentes, assim como pouca ou nenhuma diversidade vegetal ou animal, são alguns dos sinais que mostram o efeito da urbanização nos rios, sendo assim denominada de síndrome de rios urbanos (HALE et al., 2016). Para que a restauração seja aplicada, ela necessita de investimentos financeiros e políticos. Para tal, ela necessita mostrar sua eficácia e sucesso, formando assim um ciclo que liga a parte biológica à parte econômica (GALATOWITSCH; BOHNEN, 2020.)

Por todo o mundo há diversos projetos, muitos bem-sucedidos, que objetivaram melhorar as condições ecológicas de rios urbanos com leitos impermeabilizados por concreto (PALMER et al., 2005; XU et al., 2014). Lange et al. (2015) exemplificam com o Rio Panke, na Alemanha, o caso de um projeto em que foi considerado o uso de abordagens tecnicamente viáveis para atender critérios ecológicos e melhorar a qualidade e a funcionalidade do córrego, visando também aspectos estéticos. Para tal, fizeram uso de materiais encontrados próximo ao trecho trabalhado como: troncos, bancos de areia, galhos e raízes. Esses foram dispostos ao longo do leito de maneira a criar meandros e conseqüentemente uma circulação de água mais semelhante àquela de antes da retificação.

O cerne do presente estudo é a criação de propostas inovadoras de bioengenharia para a restauração de córregos urbanos de pequeno porte, considerando a escassez de projetos desse âmbito no cenário brasileiro. Além disso, utilizar do conhecimento científico prévio como base para seu desenvolvimento e aplicação.

A importância da conectividade existente em uma bacia hidrográfica é clara, especialmente entre o canal do rio e sua planície. É através dela que se tem um fluxo constante também com águas subterrâneas (BAPTISTA et al., 2017). Pensando nessa íntima relação foram escolhidos apenas trechos de sessenta metros para o estudo.

Para que este estudo fosse realizado, foi necessário o trabalho conjunto da presente autora e outras três alunas de graduação em Engenharia Ambiental: duas realizaram seus trabalhos de conclusão de curso e a outra, um projeto de Iniciação Científica. Adicionalmente, uma aluna de doutorado (PRIMO, 2020) realizou seu projeto juntamente a esse, com foco na identificação das espécies vegetais e animais

existentes nos locais de estudo e na dinâmica do carbono nos locais onde foram instaladas as intervenções visando à restauração.

2. Justificativa

O projeto foi desenvolvido em Sorocaba - SP. O referido município possui área de 450,4 km² e população de 679.378 habitantes, sendo 90% residentes na região urbanizada do município (IBGE, 2019). Trata-se de um município com população francamente urbana por razões históricas do processo de descentralização industrial que ocorreu especialmente ao longo do século XX (CMS, 2014).

Assim como usualmente ocorre nos municípios brasileiros, o processo de expansão urbana acarreta alterações nas Áreas de Preservação Permanente (APP), mesmo havendo um conjunto de leis ambientais, que ao menos teoricamente, tenderia a eliminar este problema.

Segundo o atual Código Florestal, Lei nº 12.651/12: “Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por: (...) Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

A ausência parcial ou quase total da APP, junto à concretagem do leito, ao despejo de resíduos e à intervenção humana, faz com que a saúde dos rios urbanos se deteriore.

A cidade de Sorocaba, com sua grande área urbanizada se torna mais um exemplo de um município que apresenta rios urbanos com leitos concretados que estão degradados.

Há uma carência de técnicas que supram as necessidades presentes nos rios brasileiros e que sejam eficazes para seus contextos urbanos e que tenham também como base as dificuldades financeiras e de implementação.

Além disso, sistemas aquáticos saudáveis podem se desenvolver e existir apenas se seu estado trófico ou de nutrientes não se afastarem mais do que levemente das condições naturais (TREPEL, 2016).

Diante desta demanda atual e com enfoque local, em Sorocaba, há uma urgência no desenvolvimento de técnicas que possam atender tais necessidades, das quais aqui serão apresentadas algumas.

3. Hipótese

Parte-se aqui da premissa de que as técnicas da bioengenharia constituem alternativas benéficas ao ambiente. Logo, espera-se que as técnicas desenvolvidas e testadas no presente trabalho, sendo um recurso de bioengenharia, tenha bom desempenho no contexto da recuperação de rios urbanos. A hipótese testada foi a de que pequenas intervenções em trechos curtos de rios com leitos concretados podem ser utilizadas para melhorar a qualidade da água.

4. Objetivos

Geral

Desenvolver e avaliar alternativas tecnológicas de simples confecção que auxiliassem o curso d'água a reestabelecer suas condições ecológicas e paisagísticas.

Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Levantar informações sobre a dinâmica ecológica e hidrológica dos locais de estudo nas fases pré e pós intervenção.
- Desenvolver e analisar diferentes técnicas que fossem adaptáveis para os diferentes contextos e cenários característicos dos três rios escolhidos.
- Avaliar a resposta eco-hidrológica dos locais que foram submetidos aos processos de intervenção ecológica.
- Avaliar o desempenho da metodologia por meio da abordagem FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças) do inglês SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats), a qual será abordada mais à frente.

5. Revisão Bibliográfica

5.1. Recursos Hídricos e Degradação

A bacia hidrográfica é utilizada como um modelo abrangente para conceituar e compreender os ecossistemas, uma vez que envolve aspectos de geologia, vegetação, clima, uso e ocupação do solo. Ela envolve ainda componentes estruturais e funcionais, processos biogeofísicos, econômicos e sociais, tornando-a então uma unidade ideal para integrar esforços com fins de pesquisa e gerenciamento (SIQUEIRA; HENRY-SILVA, 2011). A Figura 2 ilustra uma bacia hidrográfica e identifica alguns de seus componentes.



Figura 2: Esquema ilustrativo de bacia hidrográfica mostrando o divisor de água (cume), os principais cursos d'água, aspectos do relevo e da cobertura da terra. Figura traduzida pela autora (Original disponível em: <http://www.longtom.org/about-ltwc/watershed-diagram/>).

A relação entre bacia hidrográfica e recursos hídricos pode ser evidenciada pela frase “a água transporta substâncias e organismos, fruto de onde passou” (RICHTER; AZEVEDO, 1991). Desta forma, percebe-se que a degradação que eventualmente está ocorrendo num curso d'água pode ter causa externa e a montante do local impactada.

Este é um princípio importante que precisa ser considerado na elaboração e execução de projetos de recuperação de sistemas aquáticos.

Vale ressaltar a grande importância das zonas ribeirinhas para a manutenção de um ecossistema em equilíbrio e dinâmico (JANSSEN et al., 2019).

Dentre os ecossistemas aquáticos, os ambientes lóticos, ou seja, locais cujas águas estão em movimento ou em correnteza (CONAMA, 2005), é preciso lembrar que eles possuem fluxo predominantemente unidirecional (MALMQVIST; RUNDLE, 2002), além de possuírem uma forma linear, vazão oscilante e leitos instáveis (TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2010).

Isto pode fazer com que um distúrbio local promova consequências ao longo do seu percurso. Por outro lado, eles possuem a característica de autodepuração, que é muito importante no auxílio da sua recuperação. Outra característica importante é a sua proximidade ao ambiente terrestre, ou seja, há uma estreita relação entre esses dois ambientes: o aquático e o terrestre (TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2010).

É essencial, portanto, a compreensão dos processos e das estruturas que influenciam os ecossistemas, para a aplicação de conhecimentos básicos tanto no planejamento de projetos, como na recuperação de ambientes aquáticos degradados por atividades antrópicas (PEREIRA, 2011).

Rios têm uma forma, a qual resulta de um longo histórico de alterações do clima, das atividades tectônicas, do uso da terra e da interferência humana. Corpos d'água urbanos estão enfrentando inúmeras ameaças à sua quantidade e qualidade de água. No passado, especialmente rios urbanos de pequeno porte, tiveram seus cursos retificados, impermeabilizados, parcialmente canalizados e, muitas vezes, são estes que se encontram mais próximos da população local (LANGE et al., 2015).

Além disso, os rios urbanos são constantemente alimentados por várias cargas, como nutrientes, metais pesados, produtos de higiene pessoal ou, ainda, drogas resultantes do esgoto combinado, escoamento superficial altamente poluído após chuvas fortes ou seu funcionamento como águas receptoras (LANGE et al., 2015).

Os aspectos físicos, químicos e biológicos do rio, do habitat ripariano e da biota a ele relacionada podem ser considerados os primeiros a serem analisados quando se

avalia uma proposta de restauração de um rio. Deve-se considerar alguns atributos essenciais do ecossistema ripícola, dentre eles a análise da variabilidade hidráulica e morfológica, regime de temperatura, conectividade, diversidade da fauna e circulação de matérias orgânicas (WOOLSEY et al., 2007).

Quando se trata de um ambiente aquático, as funções que mantêm uma correlação devem ser investigadas e podem ser resumidamente definidas como balanço energético e hídrico e do equilíbrio de matérias nele existentes (WALKER et al., 2007).

O gerenciamento efetivo dos nutrientes presentes nos ambientes aquáticos pode ser dividido em quatro etapas (TREPEL, 2016):

1) definição das concentrações alvo que devem ser atingidas para o alcance de um bom estado ecológico, considerando sempre a categoria do curso d'água.

2) quantificação, através do monitoramento de diferentes pontos, dos níveis de nitrogênio e fósforo nas águas superficiais e no caminho de entrada.

3) saber o momento de quando as medidas corretivas são planejadas e implementadas, sendo necessário diferentes estratégias para o nitrogênio e o fósforo uma vez que eles tem características de mobilidade e disponibilidade diferentes.

4) execução da avaliação do sucesso das medidas implementadas, através da comparação entre os dados obtidos e as concentrações alvo preestabelecidas.

A história do desenvolvimento humano está ligada à água, considerando desde o uso e a dependência das populações ribeirinhas até o início da urbanização. Esse fato contudo trouxe, apesar de crescimento e desenvolvimento urbano, grandes impactos ambientais e hidrológicos aos corpos hídricos. Evidências arqueológicas indicam que a devastação localizada e os impactos subsequentes em bacias hidrográficas ocorrem em áreas populosas, pelo mundo, há mais de 1000 a.C. (CAMACHO, 2016).

A Idade Média foi a época onde os recursos hídricos eram utilizados, principalmente como fontes de despejo de esgoto, não havendo preocupação em sua preservação.

Foi a partir da Revolução Industrial que se iniciaram os maiores impactos, visto que o progresso tecnológico gerou mudanças na vida na população e consequentemente em seu modo de interagir com o ambiente natural (CAMACHO, 2016).

Para Mello (2005), conforme as redes de tubulação subterrâneas e a canalização de rios e córregos se expandiam, a água perdia seu papel na paisagem das cidades. Fato que até hoje é evidenciado na grande maioria das áreas urbanas, tanto de países em desenvolvimento quanto dos desenvolvidos.

Uma característica dominante da urbanização é a impermeabilização do solo, que leva a uma diminuição da infiltração e consequentemente a um aumento do escoamento (PAUL; MEYER, 2001).

As superfícies que apresentam maior impermeabilidade são aquelas que tem maior chance de causar inundações, porém mesmo assim, os corpos d'água urbanos continuam a ser retificados, aprofundados e reduzidos em zonas de concreto (WEYAND; RULLICH, 2018).

Outro problema comum em áreas de urbanização é a redução do teor de oxigênio dissolvido. Como uma zona hipóxica é uma área de baixo oxigênio dissolvido, logo a biodiversidade também é menor e há uma alteração na estrutura e funcionamento do ambiente em questão (RITZEL, 2014).

Apesar do reconhecimento de que a restauração pode alterar a morfologia do canal e trazer um aumento na heterogeneidade do habitat, um grande número de estudos mostra pouco na função de melhoria ecológica como resultado (ARANGO et al., 2015).

Restore (2013) mostra alguns dos problemas da urbanização, como suas transformações, enumeradas e explicadas abaixo, além das dificuldades em sua conservação (Figura 3).



Figura 3: Relações entre a ocupação das terras e a dinâmica de um curso d'água superficial, linear e sinuoso. Para entendimento da numeração vide texto a seguir.
Fonte: Restore (2013).

Legenda da Figura 3:

1. Impermeabilização do Solo - A chuva cai em superfícies impermeabilizadas, como telhados, ruas e estradas pavimentadas, que por sua vez drenam rapidamente o fluxo de água para os rios, aumentando o escoamento superficial e os picos de descarga. Dessa forma amplificam o potencial de inundação e o carreamento de sedimentos, ocasionando o assoreamento e também possíveis danos de sobrecarga às redes de drenagem e esgotos;
2. Crescimento e desenvolvimento urbano dentro da planície de inundação – O risco de inundação aumenta com o uso da área da planície de inundação para fins de moradia, indústria e agricultura e consequentemente, perda de habitats e de biodiversidade.
3. Mudanças no corpo d'água - A retificação, canalização ou tamponamento dos rios são métodos utilizados para diminuir os fluxos de água na região desejada, entretanto, resolvem apenas os problemas locais, aumentando a vazão nas regiões a jusante;
4. Abastecimento de Água - A retirada em excesso da água dos rios, canais, reservatórios, lagos e aquíferos para o abastecimento público, agricultura e indústrias, pode ocasionar problemas como a diminuição dos níveis de água ou até seu desaparecimento, incluindo os lençóis freáticos;
5. Poluição – Despejo de produtos químicos de indústrias, sedimentos, pesticidas, fertilizantes e entulhos contribuem para a poluição dos rios, levando à perda da qualidade da água e da biodiversidade.

Segundo Paul e Meyer (2011) mesmo diante da grande ameaça que a urbanização traz aos ambientes aquáticos ainda não existe uma conclusão clara sobre os efeitos ecológicos dela sobre eles.

A Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, em seu art. 2º, distingue, para seus fins, um ecossistema “recuperado” de um “restaurado”, da seguinte forma:

Art. 2º Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

XIII - recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original;

XIV - restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original (BRASIL, 2000).

A zona hiporreica (Figura 4) desempenha um papel relevante na mediação dos processos de intercâmbio, incluindo de matéria e de energia, entre os ecossistemas da superfície e do subterrâneo, funcionando como reguladora do fluxo de água, refúgios bentônicos, local de armazenamento, fonte e transformação da matéria orgânica. Ela pode ser considerada um filtro natural, capaz de mitigar e retardar as variações químico-físicas que afetam os ambientes superficiais e subterrâneos (BRUNKE; GONSER, 2003).

A zona hiporreica é uma área de interação entre a superfície da água e os solos nos leitos dos rios. É caracterizada por uma fauna diversificada e por um fluxo bidirecional. Por esses motivos ela desempenha um papel significativo nos ecossistemas fluviais como a localização dos principais processos físicos, biogeoquímicos e ecológicos (MAGLIOZZI, 2018).

Considerando a existência de espaços para armazenamento temporário, a possibilidade de detenção prolongada, os fluxos ascendente e descendente entre a zona hiporreica e o curso d'água, tem-se que nutrientes e poluentes podem ser absorvidos e/ou degradados quimicamente antes mesmo de seguirem o fluxo do rio (BOULTON et al., 1998).

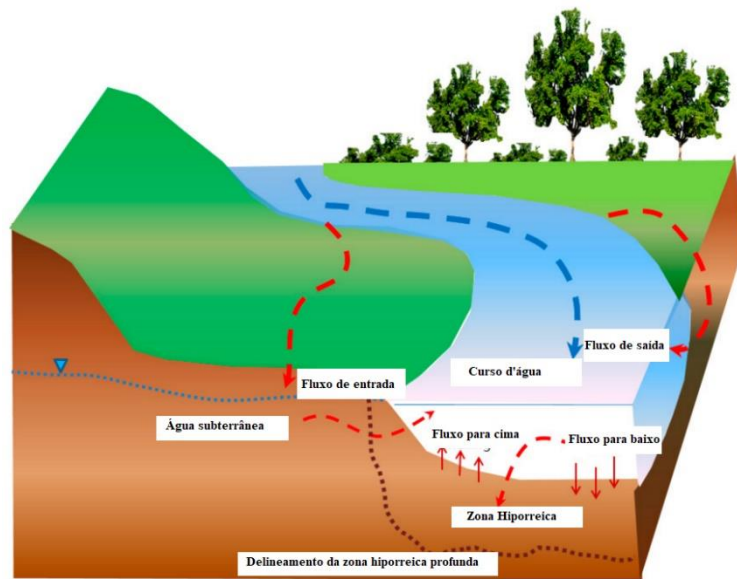


Figura 4: Exemplificação da zona hiporreica de um trecho de um curso d'água. Fonte: <http://www.mdpi.com/2071-1050/10/2/384/htm>

Quando se trata de rios de leitos impermeabilizados por concreto, fica claro que a região da zona hiporreica é diretamente afetada, pois rios com essa característica não têm troca. Isso pode ser considerado um fato importante na análise das características de grande parte dos rios urbanos, visto que sua dinâmica sofre influência, considerando especialmente, a qualidade da água.

Outro fator que sofre um grande impacto é a capacidade (e a taxa) de infiltração do solo. A impermeabilização do solo dos leitos dos rios pode contribuir com o aumento das inundações (Smith et al., 2019). Outra correlação que deve ser ressaltada é entre a diminuição da infiltração e a diminuição das correntes.

É comum o uso de dragagem para solucionar problemas de inundação, sendo esse o processo de remoção de sedimentos e de vegetação presentes no leito. Por isso, ela acaba sendo utilizada de forma inadequada por ser feita de forma repetida e como única intervenção tomada, sendo que deveria ser apenas utilizada de modo pontual e emergencial. A dragagem pode afetar diretamente a turbidez e a sedimentação, afetando também os níveis de oxigênio dissolvido e impactando toda a biota aquática (NICHOLS, 2018).

Segundo Smith; Silva; Biagioni (2019), algumas ações são possíveis para melhoria da qualidade da água e também para a recuperação de um rio. Foram listadas: o controle da entrada e da deposição de sedimentos; a recuperação e a manutenção de funções; a recuperação da vegetação e o controle da infiltração no solo, assim como o trabalho nos sistemas de drenagem.

Pesquisas mostram que cada vez mais são as ações humanas, no âmbito da paisagem, que ameaçam a integridade ecológica dos ecossistemas fluviais, impactando seu habitat, sua qualidade de água e sua biota (HONG et al., 2018). Além disso, o uso da terra, em adição a outros fatores de origem antrópica - incluindo as mudanças climáticas - são grandes influenciadores dos ecossistemas fluviais (ALLAN, 2004).

5.2. A água e as áreas urbanizadas

Os efeitos químicos da urbanização são muito mais variáveis que os efeitos hidrológicos ou geomorfológicos e dependem de fatores como a intensidade e o tipo da urbanização (residencial versus comercial/industrial), da presença de efluentes de estações de tratamento de águas residuais e/ou de transbordamento de esgoto e da extensão da drenagem de águas pluviais. Em geral, o processo de urbanização de um córrego acarreta aumento em quase todos os seus constituintes, mais consistentemente na demanda de oxigênio, condutividade elétrica, sólidos suspensos, amônia, hidrocarbonetos e metais (PAUL; MEYER, 2001). Alguns atributos de qualidade serão brevemente descritos a seguir, para que nos próximos capítulos desta tese possam ser discutidos os dados aqui levantados.

Hoekstra et al. (2018) apresentam que as questões relacionadas a água em áreas urbanas podem ser resumidas em “muito pouco”, “muito” e “muito suja”. Apesar da aparente simplicidade, é necessário entender os vários vieses entre essas definições, considerando a alta influência humana nas águas urbanas, assim como suas interferências nos processos a ela relacionados.

Em padrões morfológicos, os corpos de água das áreas urbanas apresentam uma situação pior de degradação quando comparados aos das áreas rurais (ZINGRAFF-HAMED, 2017).

No Brasil, em termos ecológicos os córregos urbanos podem ser muito diferentes dos florestados, com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, altas taxas de respiração e altas concentrações de dióxido de carbono, nitrogênio inorgânico dissolvido e carbono inorgânico dissolvido. Essas áreas urbanas mostram consideravelmente um aumento do nitrogênio total e fósforo total (TROMBONI; DODDS, 2017).

A conservação da diversidade ligada à água, em termos biológicos e culturais de uso, especialmente nos países do hemisfério Sul, encontra diversas barreiras, como: crescimento da população urbana, condições hidrológicas ligadas a mudanças climáticas, problemas políticos e à falta de estudos específicos para esses locais (WANTZEN, 2018).

Diante dos objetivos de facilitar a urbanização e proteger as cidades contra inundações, os rios e os córregos sofrem drásticas mudanças em seus padrões hidromorfológicos, incluindo a canalização e as mudanças de curso (ZINGRAFF-HAMED, 2017).

O controle urbano de inundações também é uma questão de difícil resolução, especialmente em cidades densas que ocupam terras baixas. A capacidade de escoamento como fenômeno natural é fortemente influenciada, de forma negativa, pela constante e inadequada ocupação humana das áreas de várzea.

As medidas de controle de inundação, no entanto, devem ser projetadas com base na escala da bacia hidrográfica, ao invés de considerar apenas o problema da escala local (MIGUEZ et al., 2015).

As principais características físicas da água são: temperatura, sabor, odor, cor, turbidez, presença de sólidos e condutividade elétrica, sendo que estas envolvem aspectos de ordem estética. Já as características químicas estão relacionadas com a presença de determinadas substâncias no corpo d'água e os aspectos a serem considerados envolvem medições de pH, alcalinidade, acidez, dureza, salinidade e da presença de ferro e manganês, dentre outros elementos.

Nem todas as variáveis descritas acima estão presentes na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 2005, modificada pela Resolução nº 430 de 2011 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e tampouco na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 de 2010 que estabelece os

padrões de potabilidade da água. Portanto, serão abordados como objeto deste trabalho somente alguns parâmetros considerados a priori importantes. São eles: temperatura, turbidez, sólidos dissolvidos e condutividade elétrica, pH e salinidade, descritos sucintamente a seguir.

Para Menezes et al. (2015) a capacidade de auto purificação da água tem como característica ser complexa e envolver processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem de maneira simultânea ao longo do rio.

Córregos urbanos são caracterizados por terem comunidades mais resilientes. Assim, são ideais para recuperação rápida (ARANGO et al., 2015).

5.3. Parâmetros de qualidade da água

Medidas de sucesso na restauração normalmente dependem de atributos bióticos, como peixes e macroinvertebrados. No entanto, métricas relacionadas à função do ecossistema, que são menos utilizadas, como por exemplo a medida de nutrientes, são de grande importância (BUKAVECKAS et al., 2007).

A) Temperatura

A alteração da temperatura da água pode estar relacionada à ação de fontes naturais (presença de energia solar) e de fontes antropogênicas, como o lançamento de efluentes aquecidos no leito d'água. O aumento significativo da temperatura pode exercer mudanças em outros aspectos como por exemplo: diminuir o tempo de vida de algumas espécies aquáticas, alterar o ciclo de reprodução, reduzir o teor de oxigênio da água, aumentar a velocidade de reações químicas e biológicas e por fim, pode potencializar a ação nociva de determinados poluentes na água. Não existe padrão de potabilidade para este parâmetro, todavia, para uso doméstico, a água deve ter temperatura refrescante para ser considerada agradável.

B) Turbidez

É o grau de interferência à passagem da luz. Interferência esta causada principalmente por sólidos em suspensão, que são muitas vezes resultantes de processos erosivos das margens dos rios. As estações de tratamento de água para o consumo

humano, sugerem que baixos valores de turbidez garantem mais eficiência no processo de tratamento da água.

Dois exemplos típicos causadores de turbidez elevada são: o despejo de esgoto in natura nas águas e as atividades de mineração (responsáveis pela formação de grandes bancos de lodo em rios) (CESTEB, 2009).

A turbidez pode ser medida em *Formazine Turbidity Unities* (FTU) ou *Nefelometric Turbidity Unities* (NTU). Em português é Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT) ou Unidade de Turbidez (uT). Para o presente trabalho, a unidade adotada foi NTU.

C) Total de sólidos dissolvidos

A classificação dos tipos de sólidos encontrados na água pode ser feita de acordo com as dimensões das partículas: sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. Em geral, os sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução após filtração.

D) Condutividade Elétrica

Condutividade elétrica é a habilidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica devido à presença de íons. Ela varia de acordo com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon. É, por isso, um bom indicador da concentração mineral presente na água, além de estar associada aos sólidos totais dissolvidos e lixiviados para os leitos fluviais. É um parâmetro que depende bastante da temperatura, sendo assim, sua medição e análise devem ser feitas juntamente a essa temperatura (NOGUEIRA et al., 2015).

Embora não se possa esperar uma relação direta entre a condutividade e a concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas de determinadas regiões, onde exista a predominância bem definida de um determinado íon em solução (BRASIL, 2006).

E) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a quantidade de íons de hidrogênio (H^+), indicando as condições ácidas e alcalinas do meio líquido. A água da chuva é um fator, no meio urbano, que também pode influenciar a qualidade dos rios e

córregos. A água da chuva é considerada naturalmente ácida (em torno de 5,6) devido a presença de gás carbônico. A medição do pH é realizada através de um aparelho denominado pHmetro, sendo que os valores variam numa escala de 0 a 14, na qual 0 indica um líquido extremamente ácido, portanto com características corrosivas; 7 um líquido neutro e, 14 um fluido extremamente básico, portanto com características que tendem a formar incrustações nas tubulações.

F) Salinidade

A salinidade constitui um conjunto de sais e minerais dissolvidos na água, tais como bicarbonatos, cloretos e sulfatos, que conferem sabor salino ao efluente. Também está relacionada com a “dureza” da água pois apresenta a presença de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e ânions (HCO_3 , Cl e SO_4) (LEITE, FONSECA, 2002 *apud* GIORGIO, 2017). O teor de cloretos pode ter origem natural na dissolução de minerais presentes no subsolo e/ou por processos de intrusão salina, mas também, pode ter origem antrópica, sendo indicativo de poluição por esgotos domésticos.

G) Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um fator que pode limitar (ou não) a existência de vida aquática, assim como os processos de autodepuração, sejam esses em sistemas aquáticos naturais ou em estações de tratamento de esgoto (CETESB, 2004).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 é necessário que se tenha um valor mínimo de oxigênio dissolvido de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, porém esse valor pode variar discretamente, dependendo da espécie aquática (CONAMA, 2005).

De modo geral, quando o valor de oxigênio dissolvido é inferior a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, considera-se o ambiente como hipóxico, ou seja, de baixa concentração de oxigênio dissolvido.

Dois fatores que influenciam diretamente na concentração de oxigênio dissolvido na água são: a pressão atmosférica e a temperatura do meio. Uma menor temperatura na água faz com que ela tenha maior capacidade de dissolver oxigênio. No caso da pressão atmosférica, quanto menor, menor é essa capacidade (CETESB, 2004).

H) Nitrogênio e Fósforo

São diversas as fontes de nitrogênio nas águas naturais. Em geral, os esgotos sanitários constituem, a principal, pois lançam nitrogênio orgânico, através das proteínas e, nitrogênio amoniacal, por meio do processo de hidrólise que a ureia sofre. Quando descarregados nas águas, esses tipos de nitrogênio, em conjunto com o fósforo e outros nutrientes provocam o enriquecimento do meio tornando-o mais fértil, possibilitando crescimento em maior escala dos seres vivos que os utilizam, especialmente das algas. Processo este denominado de eutrofização.

Quando as descargas de nutrientes são muito fortes, dá-se o florescimento muito intenso de alguns gêneros de algas que predominam em situações particulares. Este crescimento exagerado de populações pode trazer prejuízos aos usos que poderiam ser feitos dessas águas, desarranjando seriamente o abastecimento público ou ainda, causando poluição por morte e decomposição.

O fósforo aparece nas águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados domesticamente e em larga escala constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicos em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais, por conta da aplicação de fertilizante no solo.

I) Variáveis morfológicas, hidráulicas e hidrológicas

O formato do leito de um rio é afetado diretamente pelas formações geomorfológicas e geológicas do local (CHENGCHENG et al., 2018). A morfologia dos rios urbanos é com certeza uma parte bastante importante da morfologia de toda a superfície dessas áreas. Além disso, as variações e composições de sedimentos das bacias hidrográficas estão intimamente ligadas as construções e modificações urbanas (Yin et al., 2018).

O transporte de sedimentos, mesmo em um fluxo constante, tem uma variação espacial e temporal que depende da tensão do fluido, da topografia do leito e também de

sua estrutura. Em um rio de curso natural, essa estabilidade é então difícil de ser encontrada (PHILIPS et al., 2018).

A intensidade da sedimentação dos rios muda de acordo com o processo de urbanização. Nos estágios iniciais do processo de sedimentação, a superfície do rio fica exposta e as construções de engenharia agravariam a erosão, aumentando significativamente a quantidade de sedimentos na sua bacia hidrográfica (YIN et al., 2018).

Yin et al. (2018) sugerem que as áreas em desenvolvimento natural têm o menor valor na produção de sedimentos da bacia, enquanto áreas em urbanização têm a maior produção de sedimentos da bacia.

Durante o processo de urbanização, o sistema de escoamento do rio muda significativamente. A principal razão é o aumento das coberturas impermeáveis da superfície e a diminuição da permeabilidade das superfícies anteriores (YIN et al., 2018). Dentro da rede de canais fluviais, a engenharia de rios melhora o transporte de águas de inundação, mas impõe grandes mudanças nas características da rede e dos canais de rios. Dentre elas é importante destacar as mudanças na estrutura do canal, nas características do habitat físico e nos padrões de vegetação (GURNELL et al., 2007).

Com toda certeza, na qualidade da água dos rios urbanos encontra-se o maior impacto do crescimento da população humana e da alteração do uso de terras. Isso se dá em decorrência, em grande parte, da infraestrutura projetada para canalizar todo o escoamento das águas residuais (EPSTEIN et al., 2016).

Os rios urbanos são frequentemente reforçados com concreto, empilhamento de chapas, gabiões, etc. Formas e reforços de canais de engenharia também são implementados para melhorar a transferência de inundação como parte da prática de gerenciamento de inundação (GURNELL et al., 2007).

O processo denominado síndrome dos rios urbanos constitui uma resposta física e ecológica, quase universal, dos rios à urbanização da bacia hidrográfica. A geomorfologia de canais alterados é um sintoma primário que inclui aprofundamento, alargamento e instabilidade de canais (VIETZ et al. 2016). A “síndrome do córrego

urbano” é quando os córregos urbanos são degradados em níveis físicos, químicos e biológicos (BOOTH et al., 2015).

Mesmo tendo em comum tal síndrome, cada rio tem suas especificidades quanto ao despejo de nutriente, ao clima local e às características estruturais disponíveis (TROMBONI; DODDS. 2017). E apesar do aumento dessa ocorrência, os países em desenvolvimento ainda carecem de dados suficientes para mensurar o real efeito da urbanização em seus rios (CAPPS et al., 2016).

5.4. Recuperação, Restauração e Revitalização

Atualmente, vivem-se grandes mudanças e incertezas ambientais sem precedentes, fato este que causa grandes desafios para o desenvolvimento de técnicas de recuperação e restauração ambiental (PERRING et al., 2015).

A restauração ecológica é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. É uma atividade deliberada que desencadeia ou acelera a recuperação de um ecossistema com respeito a sua saúde (processos funcionais), a sua integridade (composição das espécies e estrutura da comunidade) e a sua sustentabilidade (resistência à perturbação e resiliência). A restauração assegura o suporte abiótico dado pelo ambiente físico, os fluxos adequados de intercâmbio de organismos e de materiais com a paisagem circunvizinha e o restabelecimento das interações culturais, dos quais a integridade de alguns ecossistemas depende. A restauração procura retornar um ecossistema para a sua trajetória histórica, isto é, que se assemelhe a um estado anterior conhecido, ou para outro estado que poderia se desenvolver naturalmente. O ecossistema restaurado não necessariamente retorna a seu estado anterior, visto que as limitações e condições atuais podem causar-lhe desenvolvimento ao longo de uma trajetória alterada.

Um trabalho de restauração busca restabelecer nos níveis: físico, químico e biológico, visto que constituem a base de sustentação dos ecossistemas aquáticos (BECCHIE et al., 2010).

Segundo Engst et al. (2016) pode-se esperar que uma comunidade restaurada consiga manter um padrão semelhante ao da original e, assim, poder prover condições apropriadas para o desenvolvimento de futuros colonizadores espontâneos.

Para tal é necessário a inclusão da discussão de tópicos importantes como a erosão, o transporte de sedimentos, as características da água, o crescimento de plantas e a teia alimentar aquática.

Uma restauração bem sucedida requer a consideração cuidadosa de vários elementos-chave. É indispensável: avaliar o grau em que um rio se aproxima ou se desvia das condições naturais e estar em posse de dados sobre o mesmo antes da deficiência ou de algum outro tipo de ponto de referência.

A restauração também pode ser definida como a implementação da sucessão de conceitos que envolvem a gestão operacional para decidir onde, qual, como e quando aplicar as ações intervencionistas, para assim restaurar os ecossistemas degradados e as paisagens. As principais etapas de uma restauração ecológica são: planejamento, implementação, avaliação e estão todas ligadas à amostragem das comunidades (WALKER et al., 1989).

As intervenções visando à recuperação ambiental podem ser classificadas em reativas, ativas e pró-ativas, ocorrendo em escala local, regional ou global. As intervenções do tipo reativas são responsáveis por manterem o atual estado do ecossistema, já as do tipo ativas, são passos positivos importantes a serem tomados em uma determinada direção. Por fim, as intervenções pró-ativas são designadas a limitar as ações antrópicas prejudiciais ao ecossistema em questão (HOBBS et al., 2011).

Uma restauração bem-sucedida é aquela que conta com uma combinação de diferentes medidas em distintas categorias. Dentre elas a bioengenharia, a remodelação de canais, a proteção contra inundações, a melhoria da qualidade da água e assim, o incentivo da autorregulação do rio. A exemplo disso, tem-se o sucesso da restauração do rio Perrentengraben, na Suíça, a qual foi uma das primeiras a considerar todos esses itens (KURTH; SCHIRMER, 2014).

Em outras palavras, a restauração ecológica faz com que os ecossistemas sejam inteiros de novo e, a gestão ecológica os mantém assim. Preparar padrões de

desempenho e protocolos de monitoramento para medir o cumprimento de cada objetivo é um passo importante. Pensando em um refinamento da classificação dos tipos de intervenções, elas podem ser divididas em: abióticas e bióticas. As intervenções abióticas têm como foco mudar os ambientes física e quimicamente, deixando que a natureza se restaure sozinha. Para a abordagem biótica, faz-se a reintrodução de espécies raras no ecossistema a ser restaurado e ainda, de espécies de plantas próprias para o local (HOBBS; CRAMER, 2008).

5.5. Recuperação, Restauração e Revitalização de Córregos

As Metodologias de Restauração de rios consideradas conservadoras, como a proposta pelo US Army (1982), mais conhecida como *The Palmiter Techniques*, envolvem a remoção de troncos de árvores e de quaisquer objetos que possam obstruir o canal. São difundidas através da sugestão de revegetação e da proteção contra a erosão das margens. Neste sentido, em 1982, era considerado um rio saudável aquele sem obstruções no curso, sem crescimento excessivo de plantas no talvegue principal e, sem erosão das margens e, que garantisse assim, alimento abundante e habitats para a vida selvagem.

Entretanto, a natureza complexa da dinâmica dos riachos e da geomorfologia fluvial, quando aplicada a sistemas urbanos e bacias hidrográficas significativamente modificadas, requer uma análise morfológica detalhada. A consideração dos fatores e dos processos complexos que compõem a morfologia fluvial deve ser crítica ao selecionar práticas ou métodos de restauração de riachos (KOEPEKE, 2017).

A constante busca por melhorias nos recursos hídricos urbanos faz com que os projetos a isso direcionados envolvam mudanças no leito rio e plantação de árvores ao redor. Infelizmente esses pontos trabalhados não são suficientes para que haja um real benefício do local (WANTZEN et al., (2020).

Denominada ainda como renaturalização, Silva e Pires (2007), propõem a seguinte classificação de obra: I) obras gerais ou de normalização, que incluem desobstrução e limpeza além de proteção das margens e fechamento de braços secundários; II) obras fluviais e de bioengenharia como, por exemplo, a utilização de

cobertura vegetal, espigões, diques e peças pré-moldadas em concreto, caixotes em madeira, geomanta e gabiões, além de *crib-walls* (berço de madeira).

Winking et al. (2015) estudaram a restauração de um rio urbano e concluíram que a “idade da restauração” foi o parâmetro mais importante para influenciar positivamente o potencial ecológico. Nos estudos de restauração de ambientes aquáticos verificados por Pereira (2011), concluiu-se que as mudanças mais marcantes foram vistas somente após cinco ou seis anos da intervenção. Neste trabalho, o autor sugere ações locais para rios e riachos, no sentido de reabilitar a comunidade de peixes, dentre elas: a melhoria na velocidade da correnteza e a cobertura artificial, favorecendo diferentes habitats.

A recuperação de um local ora degradado é um processo expressivamente complexo. Cabe ao recuperador ou restaurador promover “gatilhos ecológicos” que acelerem a sucessão natural (BECHARA, 2006). As estratégias de restauração podem se basear em uma combinação de diferentes escalas: espécies, comunidade, ecossistema, paisagem.

Alguns itens importantes a serem levados em consideração são: a identificação do local; o tipo de ecossistema; as metas de restauração; o tipo de causadores de stress; o acompanhamento e outros. Logo, é possível perceber que o processo se estende por etapas pré, durante e pós a restauração, para que esta seja então, eficiente.

Normalmente, o potencial de recuperação de um ecossistema é medido por indicadores com base na qualidade do habitat, na quantidade ou na diversidade de espécies. Já o sucesso da restauração de um ambiente é, assim como o próprio ambiente: variável. É necessário reconhecer a inexistência de um único método que seja universalmente aplicável, quando se fala de restauração. Isso devido às diferenças regionais de geologia, clima, vegetação, histórico de uso da terra e distribuição de espécies (PALMER et al., 2005).

Alguns projetos de revitalização de cursos d'água mostram o uso de ecossistemas flutuantes que são projetados para melhorar a qualidade da água dentro dos rios e canais, uma vez que aumentam a quantidade de espécies aquáticas, levando a uma via fluvial equilibrada e revitalizada.

O trabalho feito no pós industrial na região espanhola de Bilbao é um excelente exemplo de revitalização de rios. Ele envolveu a população local, assim como mudou a relação econômica da região, uma vez que após essa revitalização o turismo se intensificou. Logo, muitas outras cidades seguiram os passos de revitalização, mesmo que ainda com algumas dificuldades (BLAZY, R., 2019).

Além disso, um dos métodos de “restaurar” trata de simplesmente melhorar o fluxo de água e somar a isso o uso de energias ecologicamente adequadas em todo o conjunto que circunda o rio (BLAU; LUZ; PANAGOPOULOS, 2018).

Rios em avaliação e análise podem e devem ser comparados com rios similares que sofrem menor impacto, para compor a base de referência das características de um ambiente natural (BRENDHAND, 2005).

Segundo Rosgen (1997), existem alguns pontos para melhorar os potenciais benefícios ecológicos “passo a passo” diante da análise da restauração de um rio. Vários aspectos foram considerados:

Habitats dos peixes: Os peixes necessitam de pequenas piscinas e refúgios de madeira para o abrigo e o descanso.

Habitats de bentônicos: As espécies bentônicas têm demandas diferenciadas relacionadas às forças de fluxo, à profundidade da água, às correntes de iniciação, à deriva, ao substrato inferior (por exemplo bancos de areia) e à disponibilidade de luz.

Habitats macrofíticos: Os macrofitos têm afinidade com altas velocidades e áreas sombreadas.

Quando a mobilidade do canal não pode ser restaurada e o controle da erosão é a principal preocupação, as técnicas de bioengenharia do solo podem ser vistas como uma solução alternativa. A bioengenharia do solo consiste em copiar os modelos das margens dos rios que funcionam naturalmente, usando as propriedades físicas das plantas (JANSSEN, 2019).

A restauração de rios é onerosa e os países em desenvolvimento enfrentam muitas necessidades prementes que competem pela prioridade do orçamento, por exemplo: programas de redução da pobreza, educação, assistência médica, água potável, saneamento, entre outros (VÁSQUEZ; REZENDE, 2019).

Tendo isso em vista, atualmente, os países que mais necessitam de pesquisa, investimento e ações de restauração são aqueles onde há poucos recursos financeiros disponíveis ou também um menor acesso às tecnologias avançadas. Torna-se necessário,

então, buscar alternativas que possam se enquadrar com maior facilidade a esses locais. A bioengenharia é uma delas.

Bioengenharia refere-se à aplicação de conceitos e métodos das ciências físicas e matemáticas, numa abordagem de engenharia, para resolver problemas na reparação e reconstrução de tecidos perdidos, danificados ou mortos (ou “não funcionais”), sendo utilizada no contexto ambiental através de materiais e polímeros biodegradáveis. (CHEUNGA et al., 2009). A Figura 5 mostra o uso da bioengenharia numa estrutura já existente, fazendo apenas uma simples modificação para melhora do curso d’água em um trecho do Rio Reno-Ruhr (WEYAND; RULLICH, 2019).



Figura 5: Restauração da continuidade do rio em uma estrutura de queda existente (esquerda), ignorando-a através de um novo curso de água (direita). Fonte: WEYAND; RULLICH, 2019.

O uso de um revestimento de concreto poroso mostrou que essa abordagem pode ser considerada também uma boa abordagem para rios urbanos. Zhang (2015) mostrou uma purificação da água em teste feito em laboratório. O uso de um concreto poroso ao invés daquele que é utilizado atualmente, obtendo uma taxa de 60 % a 80 % na melhora dos índices de qualidade da água.

5.6. Trabalhos sobre recursos hídricos desenvolvidos na área de estudo

Para o tema que é discutido nesta tese, investiga-se o principal curso d’água da cidade de Sorocaba, cujo nome é o mesmo, o Rio Sorocaba.

Devido ao fato de o município escolhido ser de grande importância no cenário econômico nacional, há sempre atenção sobre o que acontece de bom ou de ruim nele. Um dos principais indicadores de conhecimento sobre um tema é a quantidade de trabalhos científicos desenvolvidos localmente e relacionados a ele.

Para Silva et al. (2013), a produção de sedimentos e outras informações relacionadas à pequena bacia urbanizada de Sorocaba, como a ausência de vegetação ribeirinha, o despejo de resíduos de construção feitos em locais inadequados e também o lançamento de esgoto não tratado são os principais agentes causadores do desequilíbrio hidrossedimentológico.

Logo, poucos se concentram na bacia como um todo, mesmo essa abordagem sendo de grande importância. Isso devido ao fato de os ecossistemas aquáticos continentais serem impactados por ações antrópicas como esgoto industrial e doméstico, desmatamento, extração de areia no leito do rio, assoreamento, barragens e introdução de espécies exóticas, modificando assim a diversidade intocada e as estruturas de habitat aquático. Em pesquisa realizada, Silva et al. (2013), para caracterizar a comunidade de peixes na bacia do rio Sorocaba, sobre diferentes indicadores, mostrou que a maior diversidade está em locais preservados.

Em seu trabalho para restauração de um trecho do córrego da Campininha, também localizado em Sorocaba, cujo leito foi degradado, principalmente por barramento, remoção da vegetação ripária e assoreamento, Moreira (2016) utilizou-se de gabiões para drenagem de água e revegetação da APP. Como resultado, concluiu que as intervenções realizadas apresentaram reposta favorável à recuperação do local. Entretanto, acrescentou uma observação sobre a necessidade de se estabelecer um prazo maior de monitoramento da biota aquática, para que os resultados fossem (ou não) considerados uma restauração efetiva.

Para Campanha (2014), mesmo o rio de estudo não sendo utilizado como suprimento de água para a população, sempre existe uma importante preocupação em relação à conservação e à proteção dos ambientes aquáticos em geral.

No local estudado essa preocupação pode ser percebida por parte da população, que durante a realização do projeto respondeu a um questionário proposto por Kuroki (2018). Na Figura 6 é possível perceber isso em todos os pontos estudados.

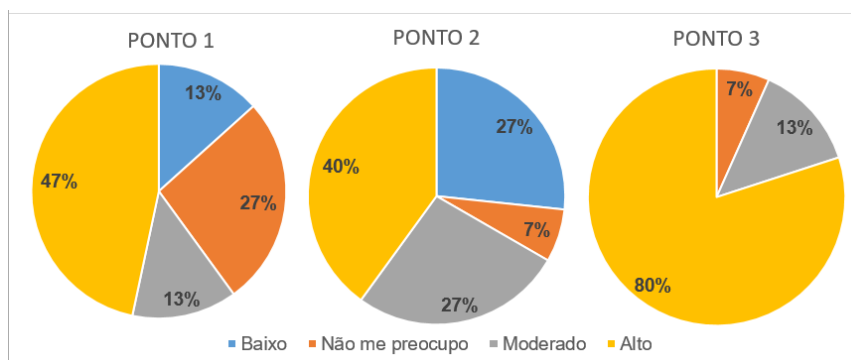


Figura 6: Categorização das respostas obtidas a partir da pergunta: “Qual o seu grau de preocupação com os problemas relacionados ao córrego?” (KUROKI, p.30, 2018).

5.7. Análise SWOT

A análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) que em português é chamada de FOFA (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) tem como objetivo fazer uma análise organizacional do presente antes de uma nova tomada de decisão (MADSEN, 2016). Ela ajuda na organização e identificação de todas as possibilidades relacionadas à competição, aos negócios ou ao planejamento de projetos.

Pode ser considerada uma ferramenta simples, porém bastante útil para a análise geral das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. Ela tem como função construir habilidades, direcionar o que falta, minimizar riscos e ter o maior número possível de chances de sucesso (MADSEN, 2016).

Segundo Rachid e Fadel (2013), a análise SWOT ainda é pouco conhecida na literatura da área ambiental, porém apresenta diversas vantagens ao se vincular com a Avaliação Estratégica Ambiental (strategic environmental assessment - SEA). Ela deve ser considerada como uma importante ferramenta de análise, a qual Helms; Nixó (2010) consideram das mais respeitadas e prevalentes no planejamento estratégico.

Apesar de decidir quais aspectos devem ser priorizados na intervenção, não se deve esquecer que todos são importantes e têm um impacto diferente, especialmente quando se trata de temas ambientais, como Ayla e Juízo (2011) fizeram no gerenciamento de recursos hídricos de Moçambique.

6. Procedimentos Metodológicos

O presente estudo envolveu diversas atividades de campo, laboratório, procedimentos computacionais e análises estatísticas. Inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica referente à degradação de rios com enfoque em rios urbanos. Na etapa subsequente, deu-se o início às coletas feitas em campo, juntamente com suas respectivas análises laboratoriais. Essas se mantiveram do primeiro até o último dia de coleta. A implementação das intervenções se deu na metade do período dessas coletas de campo. Após a finalização dessa etapa, os dados foram tabulados e em seguida analisados estatisticamente. Para finalizar, foi feita a avaliação da hipótese, assim como sua discussão e conclusão. O fluxograma a seguir mostra essas etapas (Figura 7).

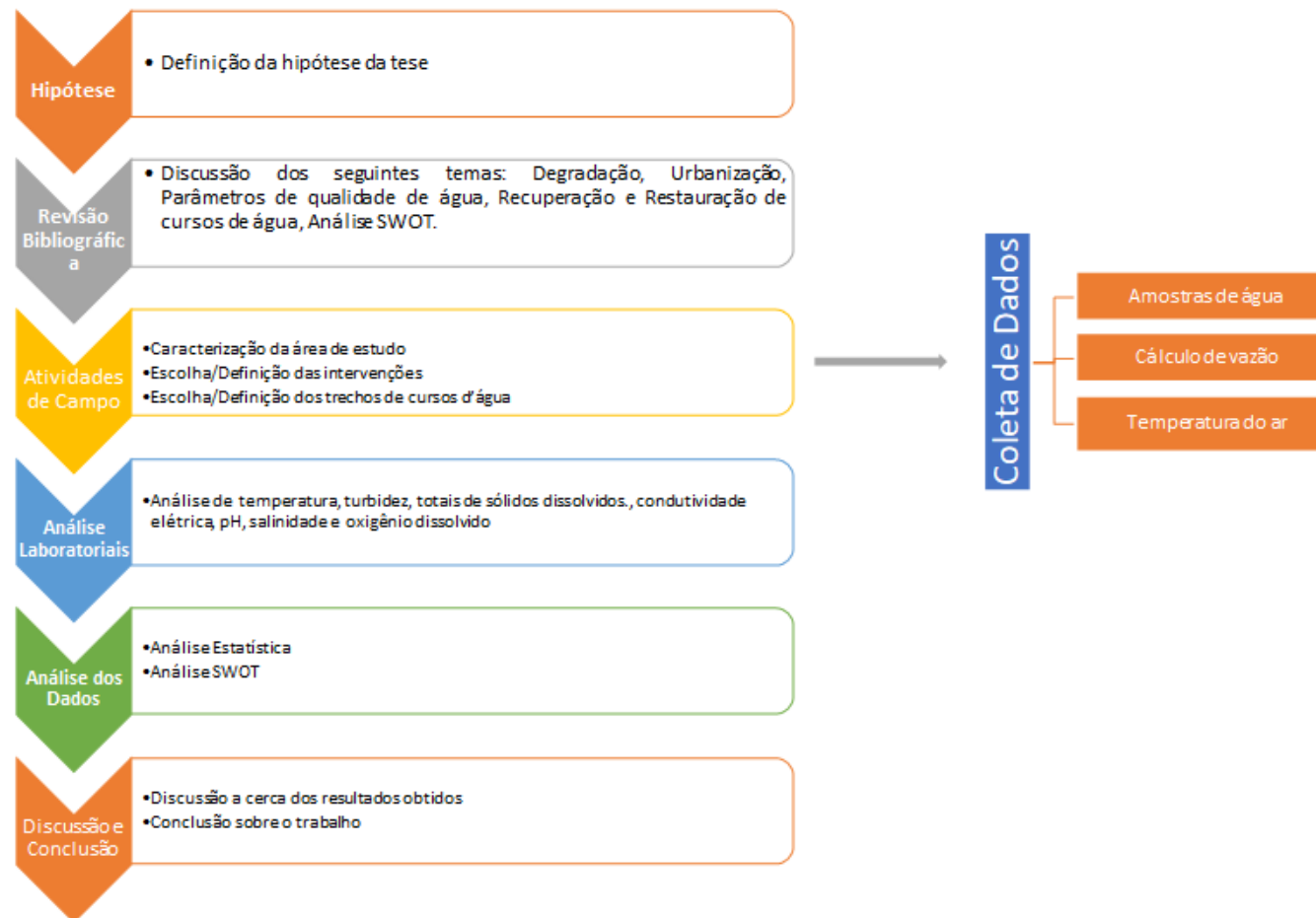


Figura 7: Fluxograma das etapas do trabalho

6.1. Caracterização do local de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no município de Sorocaba. É um município com área de 449,8 km² e população de 608.269 habitantes (IBGE, 2014). Sendo 98% moradores de áreas urbanas.

De acordo com Sema (2010), Sorocaba detém uma malha hídrica densa e perene, possuindo 2.881 nascentes e o rio Sorocaba, principal curso d'água que corta o município. O rio nasce no planalto de Ibiúna, formado pelos rios Sorocabaçu, Sorocamirim e Una, desaguardo no rio Tietê no município de Laranjal Paulista e compõe a bacia hidrográfica Sorocaba Médio Tietê, apresentada pela Figura 8.

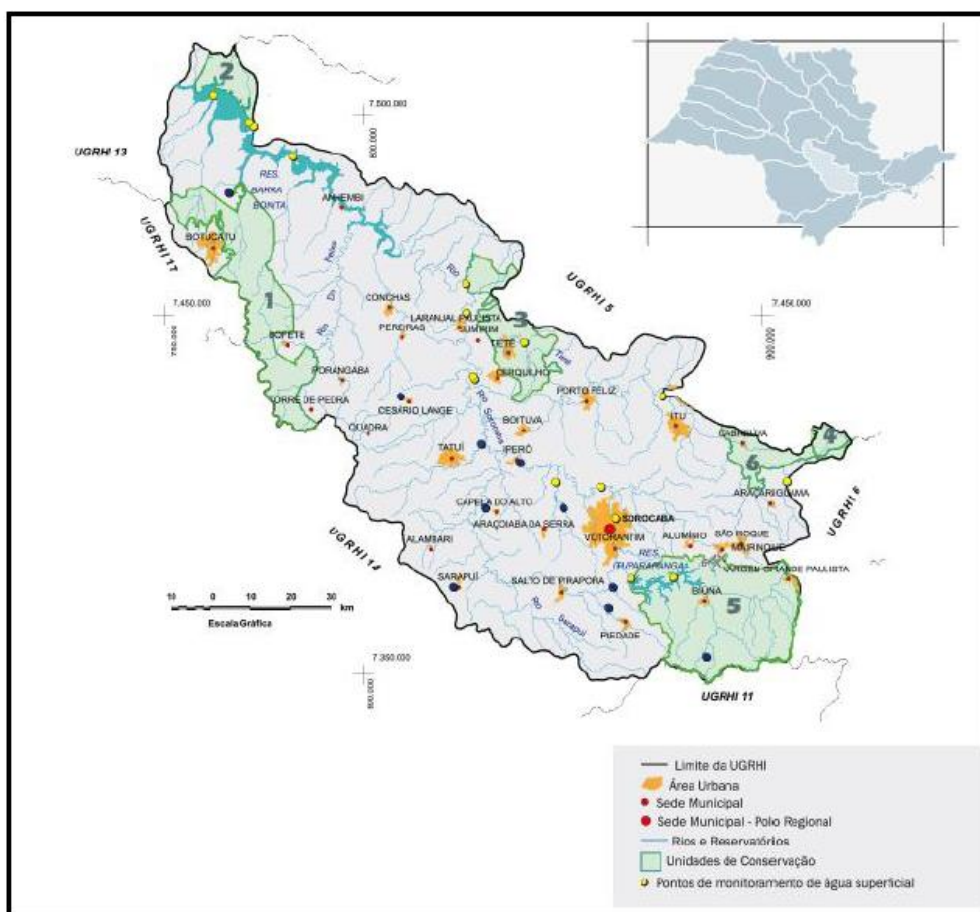


Figura 8: Bacia Hidrográfica Sorocaba/Médio Tietê. Fonte: SIGRH (2017).

Silveira et al. (2009) mostraram que em Sorocaba a densidade de rios (número de cabeceiras por km²) é de 5,19 cabeceiras por km², de uma rede total de comprimento de rios de 1.198,9 km (Figura 9).

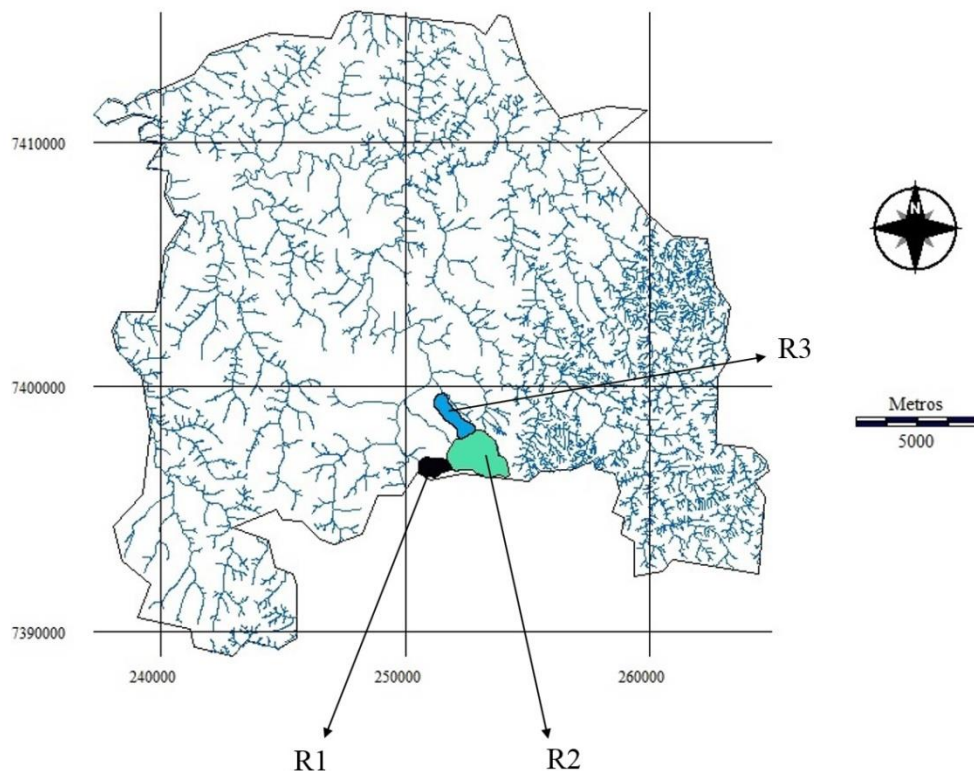


Figura 9: Malha hidrográfica do município de Sorocaba em 2016. Escala: 1:50.000. No mapa: sistemas de coordenadas UTM, zona 23K. Fonte do mapa: modificada de Silveira et al. (2009).

Segundo a classificação de Koeppen, baseada em dados mensais de temperatura e pluviosidade, o clima da região é considerado como “Cwa”, ou seja, apoiado no clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Nesta simbologia usada por Koeppen, a letra “C” representa a existência de um mês com temperatura média mensal menor que 18°C e todos os meses com temperatura média mensal superior a -3°C. A letra “w” representa seca de inverno (relativo a chuvas). Por sua vez, a letra “a” representa temperatura média do ar no mês mais quente $\geq 22^{\circ}\text{C}$ e temperatura média do ar no mês mais frio $> 10^{\circ}\text{C}$ (SIGRH [s.d.]).

A temperatura média encontra-se em torno de 22,1°C, com máxima de 27,9°C e mínima de 16,1°C. Já o índice pluviométrico é de 1.311,2 mm por ano (CEPAGRI, 2016). A Figura 10 mostra essas médias referentes aos últimos 30 anos (CLIMATEMPO, 2018).

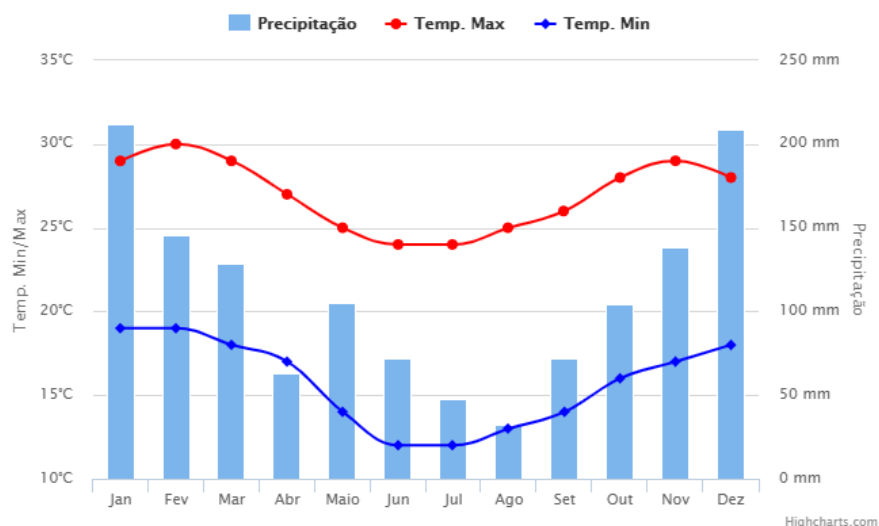


Figura 10: Sazonalidade da chuva e da temperatura. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados. É possível identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias de uma região. Fonte: Climatedempo, 2018.

Segundo o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município, em 2016 Sorocaba tinha 89% de tratamento de esgoto em relação à água distribuída à população. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do Ministério das Cidades, 96% do esgoto era coletado na mesma época.

O mapa de cobertura da terra apresentado por Bortoleto et al. (2019), (Figura 11), mostra que na área do município ocorrem 22% da Vegetação Natural Remanescente, sendo algumas de Mata Atlântica e outras de Cerrado, uma vez que se trata de uma região de ecótono. Por outro lado, 31,4% correspondem a regiões urbanizadas.

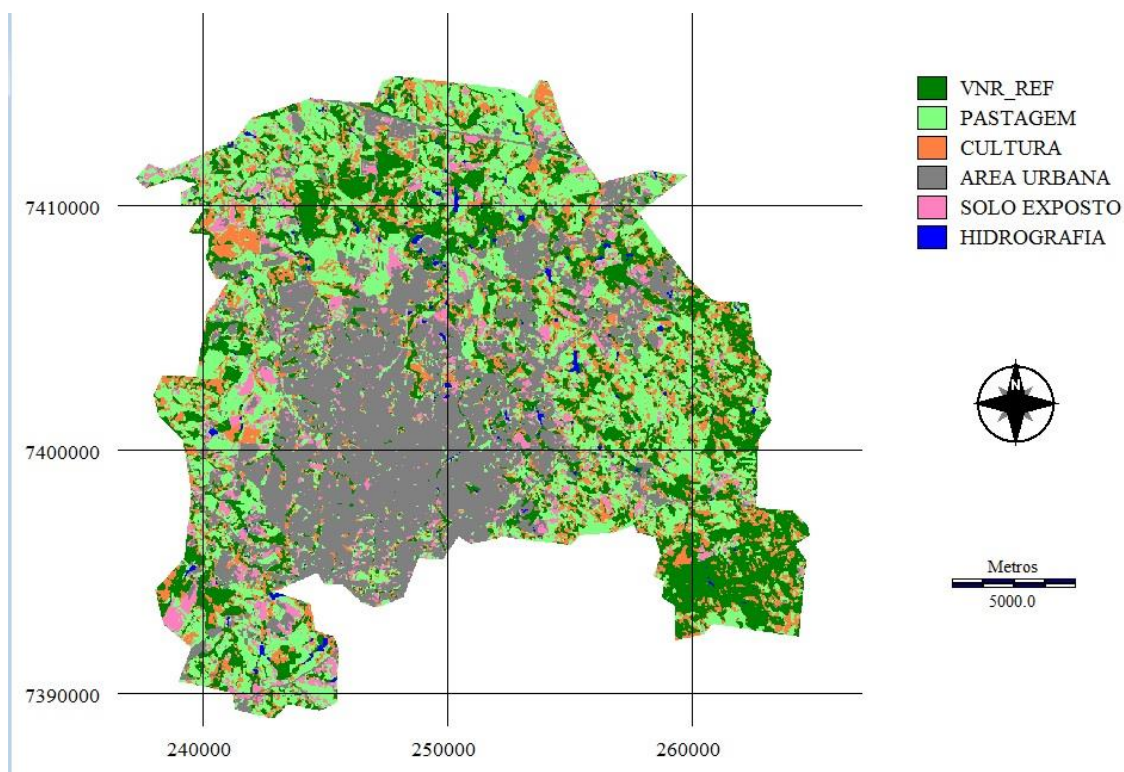


Figura 11: Mapa de cobertura da terra para o município de Sorocaba em 2016. No mapa: sistemas de coordenadas UTM, zona 23K. Fonte do mapa: Bortoleto (2019).

6.2. Determinação dos locais para desenvolvimento do projeto

Para a pesquisa em questão, foram escolhidos três córregos urbanos de leitos constituídos de concreto tanto na base do rio quanto nas margens laterais. Todos pertencentes a UGRHI - 10 Sorocaba/ Médio Tietê.

O primeiro córrego considerado (R1) localiza-se na Avenida Francisco Pintos Miranda, cujas coordenadas são: 23° 51' 83,26" Latitude Sul e 47° 44' 24,83" Longitude Oeste (Figura 12) e encontra-se em uma região urbana de bairros residenciais.



Figura 12: Localização do R1 (segmento de linha azul). Coordenadas: 23° 51' 83,26" Latitude Sul e Longitude Oeste 47° 44' 24,83". Fonte: imagem obtida junto ao sistema Google Earth em 2017.

Igualmente localizado em um bairro residencial, o córrego 2 (R2) encontra-se na Avenida Carlos Soneti nas coordenadas 23° 30' 44,622" Latitude Sul e 47° 25' 42,503" Longitude Oeste (Figura 13), próximo à portaria do Clube São Bento, em uma região menos movimentada.



Figura 13: Localização do R2. Coordenadas: 23° 30' 44,622" Latitude Sul e 47° 25' 42,503" Longitude Oeste. Fonte: imagem obtida junto ao sistema Google Earth, 2017.

O último córrego (R3) situa-se na Avenida José Benedito de Lima, nas coordenadas Latitude Sul 23° 29' 35,675" e na Longitude Oeste 47° 26' 0,978" (Figura 14), localidade próxima a uma área com intensa movimentação de automóveis, (cruzamento com a Rua Pedro de Góes). É possível observar que é o único córrego que possui traços de vegetação.



Figura 14: Localização do R3. Coordenadas: Latitude Sul 23° 29' 35,675" e na Longitude Oeste 47° 26' 0,978". Fonte: imagem obtida junto ao sistema Google Earth, 2017.

6.3. Caracterização do local e da microbacia de cada trecho

Foram criados mapas para a caracterização da região (microbacia) dos três pontos utilizados no projeto para que, através da análise das características desses locais, as intervenções a serem executadas pudessem ser escolhidas de forma mais exata.

Considerando os critérios propostos por Silva et al. (2019) foram realizadas análises para a escolha das três áreas de desenvolvimento do estudo. As três microbacias possuem características distintas entre si quanto aos aspectos morfométricos e de ocupação das terras. A maior delas é a R2 e, de acordo com o mapa hidrográfico o local é de 4ª ordem (segundo o sistema de classificação de Strahler). Em seguida aparece a R3, em termos de área e, verificou-se que esta microbacia é de 2ª ordem. Por fim, a microbacia R1, sendo ela de 1ª ordem é a menor delas em termos de área (Tabela 1).

Tabela 1. Área total (em hectares e porcentagem) de cada categoria de cobertura da terra de cada microbacia a montante do local sob investigação.

Trecho / microbacia →	R1		R2		R3	
Classes de cobertura ↓	Área	%	Área	%	Área	%
Áreas Urbanizadas	61,73	75	123,25	38	96,74	82
VNR/Ref. (*)	8,18	10	44,32	14	13,31	11
Gramíneas	4,81	6	58,84	18	8,18	7
Solo Exposto	8,06	10	29,24	9	0,17	0
Mineração	0,00	0	72,33	22	0,00	0
Total	82,78	100	327,98	100	118,40	100

(*) VNR / Ref. – vegetação natural remanescente / reflorestamento

Fonte: Silva (2016).

A Figura 15 mostra o mapa de cobertura da área de cada microbacia mais uma foto de cada trecho. A microbacia R2 é a que apresenta menor percentual de área urbanizada, maior porcentagem de vegetação natural remanescente e também é a única que apresenta áreas usadas para fins de mineração. Por sua vez, a microbacia R3 é a que apresenta maior porcentagem de áreas urbanizadas, sem ocorrência de áreas de solo exposto e mineração. A altíssima porcentagem de áreas urbanizadas acarreta algumas peculiaridades à qualidade da água deste córrego, conforme será visto a seguir.

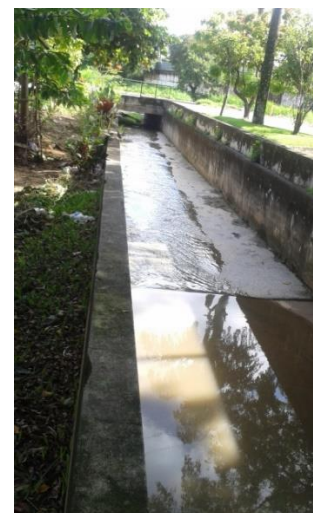
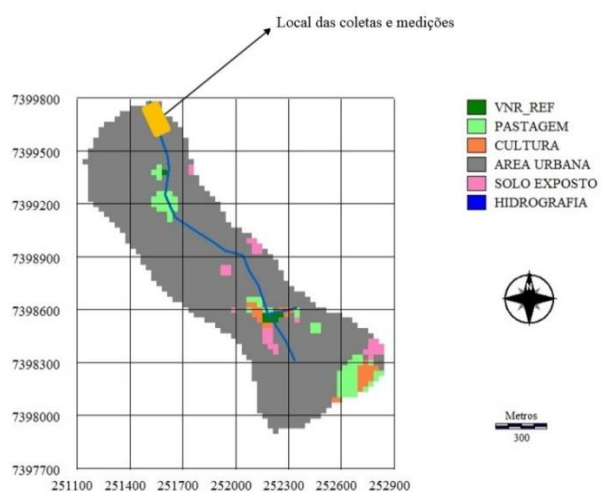
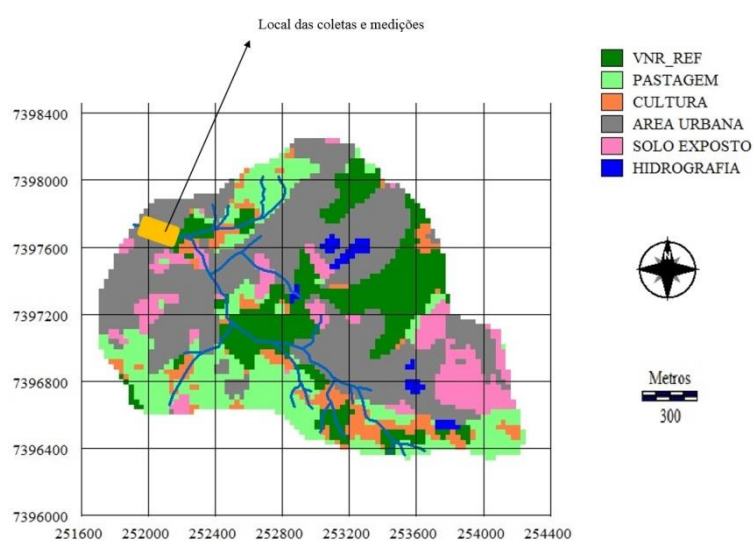
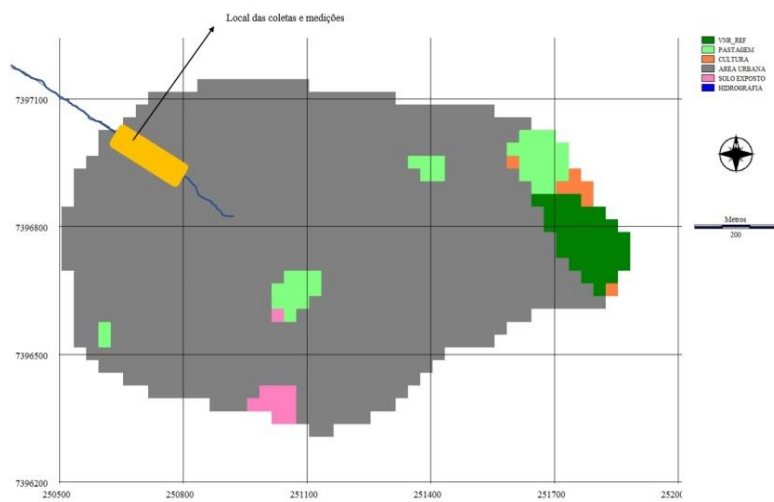


Figura 15: Mapas de cobertura (colunas à esquerda) e foto de cada trecho sob investigação. De cima para baixo: trecho/microbacia: R1, R2 e R3.

6.4. Coletas de informações e amostras *in situ*

Iniciou-se a campanha de coletas de amostras de água objetivando a análise dos parâmetros de qualidade e a obtenção de variáveis hidrológicas. A primeira coleta ocorreu no dia 16 de abril de 2016 e desde então, foi efetuada duas vezes ao mês (quase sempre aos sábados pela manhã), sendo finalizada no dia 24 de fevereiro de 2018, totalizando 46 coletas (tabela 2 anexa).

Para a realização das coletas das amostras, cada córrego foi dividido em três pontos, com uma distância de 20,0m entre cada um; sendo um a montante, um a jusante e o terceiro no ponto onde foram feitas as intervenções, localizado entre os outros dois pontos (Figura 16). Sendo essa medida escolhida visando trabalhar com trechos de rio, nos quais as coletas entre os pontos não fossem distantes e também de modo que as intervenções, mesmo que pequenas, pudessem mostrar resultados de revitalização. Estes pontos foram sempre os mesmos para todas as datas de coleta.

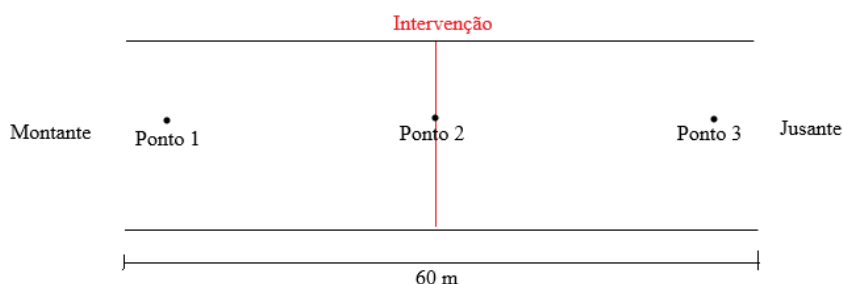


Figura 16: Pontos de coletas.

Na etapa de campo, a leitura da temperatura do ar com o termômetro foi sempre e imediatamente no local da coleta. Para tal finalidade utilizou-se de um termômetro tipo espeto, marca Incoterm e modelo 6132.

As coletas das amostras de água foram realizadas utilizando-se de garrafas do tipo “PET” com a capacidade de 2 litros. Estas foram previamente limpas, lavadas com água destilada e, no local da amostra, cada garrafa foi preliminarmente lavada com água do próprio local, no dia da coleta e em cada ponto. Esta água era descartada e, em seguida procedia-se com a coleta da amostra definitiva para as análises. Para o completo enchimento usava-se, como apoio, outro recipiente. Antes de serem colocadas na sombra, era realizada a medição da temperatura de cada garrafa com o

mesmo termômetro utilizado para mensuração da temperatura do ar (termômetro digital tipo espeto).

6.5. Coletas de informações e análises *ex situ* das amostras

Após cada coleta, as amostras eram transportadas para o laboratório do grupo de pesquisas do Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas NATEL, do Instituto de Ciência e Tecnologia- Campus de Sorocaba (ICTS-UNESP) para a determinação dos parâmetros descritos a seguir.

Para a quantificação do teor de oxigênio dissolvido, parte de cada amostra era cuidadosamente colocada num béquer para que não existisse a interferência do ambiente externo. Em seguida, por meio de um oxímetro (marca Lutron e modelo DO-5519) era realizada a mensuração do teor de O₂ nas amostras.

A turbidez foi quantificada através de um turbidímetro digital, marca Lutron, modelo TU-2016. Para tanto, a cubeta do aparelho era sempre completada com a amostra, para posterior leitura e anotação dos valores encontrados. Ressalta-se que a cada troca de amostras, os equipamentos eram sempre lavados com água destilada para evitar a contaminação das mesmas.

O multiparâmetro (marca Oakton, modelo PCSTester 35) era submerso na amostra de cada ponto, contida no béquer, para que fossem realizadas as leituras do pH, da condutividade elétrica, da salinidade e dos totais de sólidos dissolvidos.

Para a determinação dos sólidos sedimentáveis foram utilizados três cones de Imhoff, três suportes para os cones e um bastão de vidro, seguindo as normas NTS013 (Sabesp, 1999). Inicialmente, a amostra era agitada ainda na garrafa e, em seguida transferida para os cones até completar 1000 ml, permanecendo em repouso por 45 minutos. Ao final deste tempo, ela era cuidadosamente agitada (novamente) com um bastão de vidro, em movimentos circulares descendentes. Após outros 15 minutos, a leitura dos resultados era efetuada.

Para estimativa da concentração de sólidos totais, foram utilizados béqueres de vidro de volume de 100ml ou ligeiramente maiores. Após determinação da massa de cada recipiente (béquer), colocava-se 100ml de amostras e o recipiente era então, levado à estufa, a cerca de 70°C para evaporação da água, até a estabilização da massa (que ocorre usualmente num período aproximado de 48 horas). O recipiente era novamente pesado e deste novo valor subtraía-se o outro, anteriormente obtido (da massa do recipiente); obtinha-se assim, o valor em gramas por 100ml de amostra. Para obtenção do valor em gramas por litro, multiplicava-se esse valor por 10.

6.6. Caracterização hidrológica (coleta de informações e cálculos)

A determinação da vazão era realizada por meio de um levantamento inicial do perfil batimétrico de cada córrego. Para isso, era considerado um ponto intermediário de cada trecho de rio, para posterior estimativa da velocidade da correnteza da água. Para a determinação da área da seção, fixava-se, em cada lado margem do rio, uma estaca com um barbante graduado esticado, ligando-as. Em seguida, com a utilização de uma régua plástica, realizava-se a leitura da profundidade do córrego em intervalos de 10cm. Então, com a distância e a profundidade de cada segmento, efetuavam-se os cálculos para obtenção da área do perfil longitudinal (Figura 17).

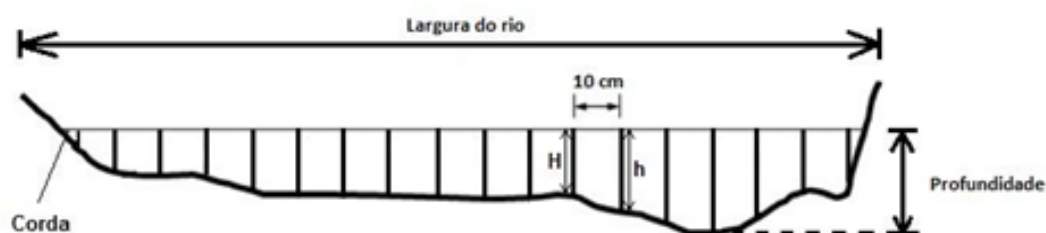


Figura 17: Perfil longitudinal do córrego. Fonte: Giorgio (2017).

A fórmula utilizada para o cálculo da área da seção longitudinal de cada rio foi a somatória da área de trapézios, representada pela seguinte Equação (1):

$$\sum_{s=0}^n A_s = \sum_{s=1}^n \frac{(H+h) \cdot 10}{2} \quad (1)$$

Onde:

s = seção;

n = número de seções envolvidas para o cálculo da área total.

H = profundidade da primeira seção (m);

h = profundidade da seção subsequente (m);

A = área do intervalo de cada seção (m²).

Posteriormente, para a determinação da velocidade do riacho, foram delimitados um ponto de partida e outro de parada; Foi colocada uma haste de madeira a exatos dois metros, a jusante do rio, do barbante amarrado nas estacas. Em seguida, despejava-se uma gota de um produto traçador fluorescente (*water traking dye*), num local pré-estabelecido a montante da seção transversal delimitada pelo barbante (Figura 18). Após o despejo da gota, esperava-se a formação da pluma.

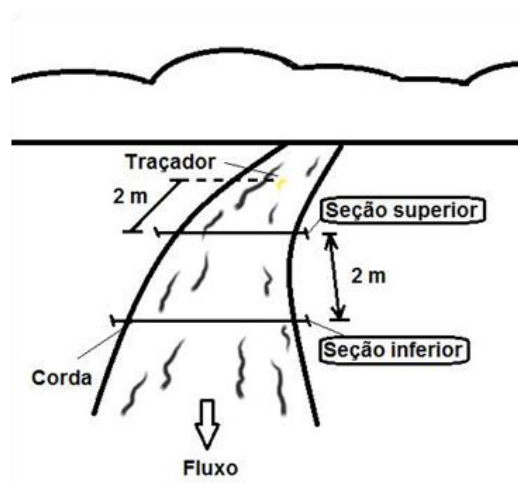


Figura 18: Ilustração de marcação do trecho do córrego (Giorgio, 2017).

No momento em que a mesma passava pela seção do barbante, o cronômetro era disparado, a fim de quantificar o tempo no qual alcançaria o ponto de parada. Com o tempo que percorria a distância de dois metros era possível então, obter a velocidade da correnteza. Realizava-se seis repetições desta leitura, para diminuir o grau de incerteza.

Por fim, com os valores da área e da velocidade, através do método da seção média, calculava-se a vazão de cada córrego. A velocidade foi determinada pela Equação (2):

$$V = \frac{L}{t} \quad (2)$$

Onde:

V = velocidade da água (m/s);

L = distância entre as seções (m);

t = tempo médio obtido a partir das seis repetições (s).

Por fim, com os valores da área e da velocidade, através do método da seção média, foi realizado o cálculo da vazão para cada córrego de acordo com a Equação (3):

$$Q = \sum_{s=0}^n A_s \cdot V \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão do rio (m³/s);

A = área das seções (m²);

V = velocidade da água (m/s).

6.7. Planejamento e Execução das Intervenções

Após a etapa inicial de coletas de amostras, de dados *in situ* e de consulta bibliográfica determinou-se quais seriam as intervenções a serem realizadas conforme o local. Sendo assim, em fevereiro de 2017 foram executadas e instaladas as intervenções e, as coletas foram realizadas até a segunda quinzena de fevereiro de 2018.

O experimento consistiu no desenvolvimento de estratégias e design para a melhoria estrutural dos rios selecionados. Porém, inicialmente, houve a necessidade de várias interações de modelagem, geradas através do estudo de diferentes cenários e de avaliações baseadas na prática da execução do projeto.

Para executar as intervenções foram usados os seguintes materiais: tecido de juta, tela plástica, sacos de feira, tule, britas e mix de sementes. A juta utilizada para a confecção das salsichas foi proveniente de outro projeto em andamento e serviu como base para a colocação da brita. Por se caracterizar pela malha de fibras cruzadas, foi necessário o uso de um material também biodegradável e com uma malha de abertura menor que a da juta. Neste caso, o tule foi o material escolhido para a contenção da brita no interior das salsichas.

Diferentes estratégias de intervenção foram escolhidas para cada local, considerando as características do mesmo e a formação do leito. Sendo ecologicamente adequadas, aquelas que não trazem danos ou malefícios aos locais onde foram instaladas e nem podem ser comparadas entre si, visto que os pontos estudados apresentam características diferentes.

Para o rio 1 (R1) foram utilizados sete sacos de juta que são normalmente utilizados para o transporte de legumes em feiras (Figuras 19, 20 e 21). Estes foram cheios de brita e dispostos na formatação de 2, 3 e 2, paralelos às laterais do rio. Sua fixação se deu por meio de vergalhões advindos da construção civil, que foram encaixados nos espaços existentes entre as placas de concreto do fundo do córrego (Figura 22).

O posicionamento dos sacos se baseou no fato desse córrego ter uma vazão que varia bastante, logo precisou de uma intervenção que conseguisse se manter fixa em épocas de maior e menor vazão. Além disso, para que fosse possível sua fixação no local, utilizou-se os espaços existentes entre as placas de concreto, existente no fundo dessa calha. Outro fato que levou a essa escolha foi a existência de alguma vegetação a montante do leito, local onde há um acúmulo de resíduos que criam um substrato. Isso trouxe a ideia de que a existência de um substrato seria uma boa opção para o desenvolvimento dessas e de outras espécies em outros pontos. A disposição desses

sacos partiu do princípio da criação de movimento para água, semelhante aos ambientes naturais onde ela flui seguindo o contorno dos meandros do leito.

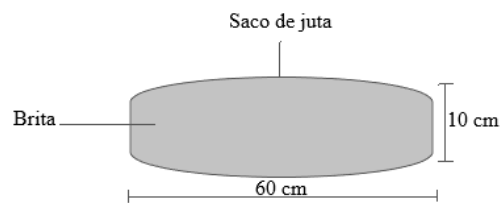


Figura 19: Saco de juta preenchido com brita. Medidas 60cm x 30cm x 10cm.

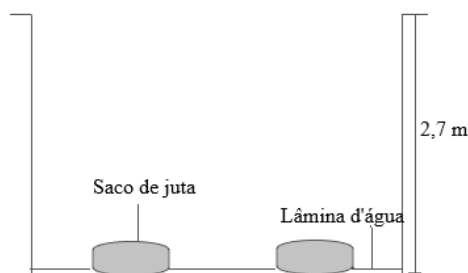


Figura 20: Corte transversal do R1 com a presença dos sacos de juta.

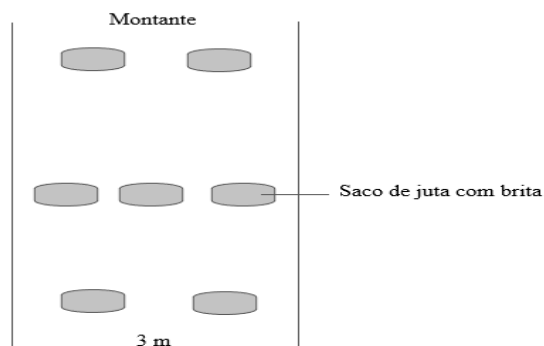


Figura 21: Vista superior das intervenções no R1 (pedido de patente sob título Sistema Indutor e Direcionador de Recuperação Ecológica de Córregos com Leito Concretado).



Figura 22: Intervenção realizada no R1. Sacos de juta com brita (R1).

Para o rio 2 (R2) foram feitos 6 rolos flexíveis de tule e juta, preenchidos com a mistura de brita e sementes citada anteriormente (Figuras 23 e 24).

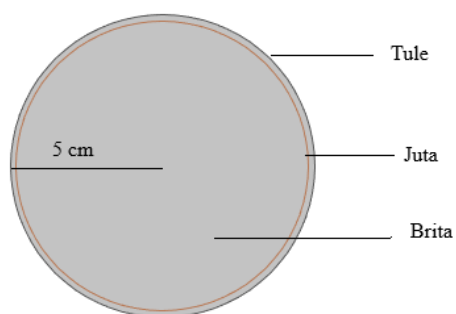


Figura 23: Corte transversal das “salsichas”. Diâmetro 10 -15 cm e comprimentos 2,5 – 3 m.



Figura 24: Salsichas (R2) ainda em fase de construção no Campus.

Estas “salsichas” foram dispostas paralelamente ao fluxo da água, ficando duas em contato direto com o fluxo e as outras quatro foram posicionadas mais distantes do fluxo constante em dias de baixa vazão do rio (Figuras 25 a 27). É importante ressaltar que, diferente dos outros dois córregos analisados, que possuem seção transversal retangular, este apresenta um perfil transversal do tipo trapezoidal.

Esse modelo de intervenção foi escolhido levando em conta o formato trapezoidal do leito, assim o posicionamento das salsichas foi feito de modo que elas entrassem em contato com a água, mesmo ocorrendo a variação da vazão. A mistura com sementes foi uma escolha que considerou a existência de uma grande quantidade de areia em todo o leito, que poderia servir então como substrato para o desenvolvimento dessas plantas.

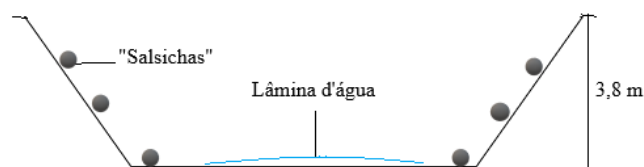


Figura 25: Corte transversal do R2 com as intervenções.

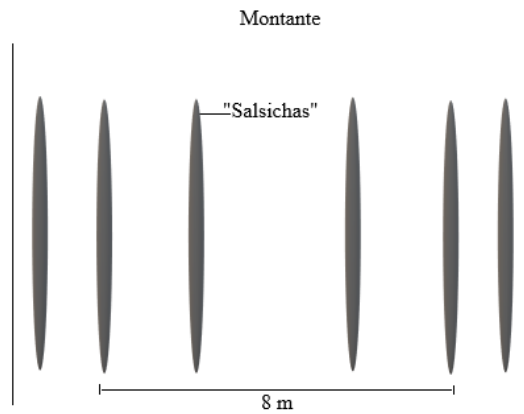


Figura26: Vista superior da intervenção no R2.



Figura 27: Intervenção realizada no córrego R2.

No rio 3 (R3) foram feitas 6 “salsichas” idênticas às utilizadas no rio 2, dispostas também paralelamente ao fluxo d’água. Seguindo o mesmo princípio do rio anterior, duas foram dispostas em contato direto com a água e as outras quatro foram fixadas na margem concretada do córrego de forma a permanecerem acima do nível da água na maioria do tempo (Figura 28).



Figura 28: Intervenção realizada no córrego R3.

Além disso, foi feito um produto tecnicamente denominado como geocomposto, constituído por um rolo de tela plástica (georrede) também preenchido com britas de tamanhos 2 e 3 (diâmetros médios variando de 30 a 50 mm), normalmente usadas em construção civil. Essa “salsicha” foi colocada de maneira perpendicular ao fluxo d’água, servindo assim como uma mini barragem para sedimentos (Figuras 29 a 33).

O posicionamento das salsichas foi feito considerando que esse córrego possui uma alta vazão em dias de chuva, assim elas puderam entrar em contato com o fluxo em todos os momentos, além de conseguirem reter os resíduos sólidos que boiaram durante a maior vazão. A barragem foi uma opção feita tendo em mente a grande quantidade de resíduos sólidos existente no local. Ela foi então, uma escolha buscando fazer a retenção desses resíduos de pequeno e médio porte.

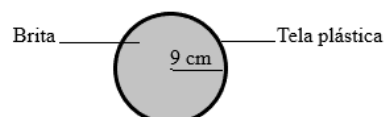


Figura 29: Corte transversal da mini-barragem.



Figura 30: Corte transversal das intervenções no R3.

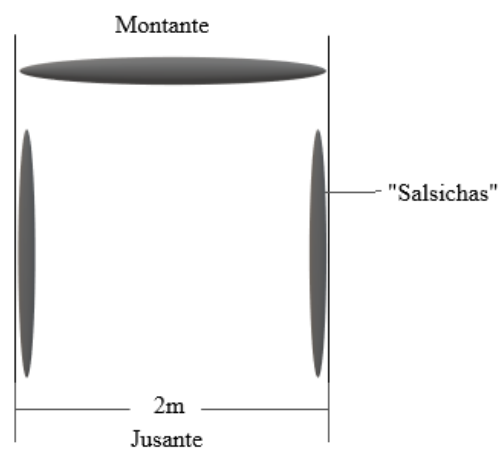


Figura 31: Vista superior das intervenções no R3.



Figura 32: Composto geotécnico (mini-barragem) confeccionada e pronta para instalação.



Figura 33: Detalhe da instalação da mini-barragem transversal no córrego R3. Integrantes do projeto da esquerda para a direita: Professor Alexandre, Kristiane e Gabriela.

Após as intervenções, as coletas continuaram normalmente em termos de cronograma e levantamento de dados. Tratava-se de investigar como o ambiente se modificava em função das intervenções ora executadas.

6.8. Análise das respostas dos sistemas após a execução e implantação das intervenções

Os dados obtidos em campo ou laboratório foram inicialmente registrados numa ficha de papel previamente estabelecida para o projeto (vide anexo I). Para análise final dos resultados, os dados colhidos foram transferidos para planilhas digitais e posteriormente realizadas as estatísticas descritivas básicas dos três pontos de cada córrego para todos os parâmetros de qualidade, com exceção do biológico, assim como a matriz de correlação entre as variáveis analisadas.

Para as análises estatísticas foram consideradas a média, o desvio padrão, o valor máximo e o mínimo, assim como o coeficiente de variação do desvio padrão com a média.

Dentre os testes usados na estatística tem-se o teste t de Student. Esse é um teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste (t) segue uma distribuição t de Student. Ele é utilizado para a comparação de uma amostra com uma população, a comparação de duas amostras pareadas e também para comparar duas amostras independentes.

O teste de Mann-Whitney indicado para comparação de dois grupos não pareados para verificar se pertencem ou não à mesma população e cujos requisitos para aplicação do teste t de Student não foram cumpridos. Ao contrário do teste t, que testa a igualdade das médias, o teste de Mann-Whitney (U) testa a igualdade das medianas.

A Análise de Variância (ANOVA) one-way analisa experimentos que envolvem uma variável de resposta e um fator controlável a vários níveis (vários grupos). Ela tem como objetivo identificar se os valores da variável de resposta medidos nos diversos níveis do fator controlável diferem entre si.

O teste de Kruskal-Wallis é o teste não paramétrico utilizado na comparação de três ou mais amostras independentes. Ele indica se há diferença entre pelo menos dois deles. A aplicação do teste utiliza os valores numéricos transformados em postos e agrupados num só conjunto de dados. A comparação dos grupos é realizada por meio da média dos postos (posto médio).

Para a análise dos resultados antes e após as intervenções, foram aplicados o Teste t de Student (dados paramétricos) ou o Teste de Mann-Whitney (dados não-paramétricos).

A análise dos dados foi conduzida com a utilização dos softwares estatísticos Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, Chicago, IL, EUA.), Versão 22.0 e GraphPad Prism versão 6.0.1. Após a tabulação dos dados, a normalidade da distribuição dos dados foi testada com a aplicação do teste de Shapiro-Wilk.

Para a análise dos resultados, antes e após as intervenções, foram aplicados o Teste t de Student (dados paramétricos) ou o Teste de Mann-Whitney (dados não-paramétricos). Além disso, foram conduzidas análises de comparação das médias das variáveis após as intervenções, por rio e por pontos de coletas de dados. Para estas

análises, foram aplicados: Análise de Variância (ANOVA) one-way e Teste de Kruskal-Wallis para dados paramétricos e não-paramétricos, respectivamente. Para todas as análises foi adotado o nível de significância de 5% ($p < 0.05$).

6.9. Análise SWOT

Tudo o que compreende o processo de definição, implantação e continuidade das intervenções possui pontos positivos e pontos negativos. Alguns desses pontos podem ser alterados enquanto outros são intrínsecos ao projeto executado. Assim a análise SWOT organizou os principais pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças em uma lista organizada.

Ela foi projetada para facilitar uma visão realista, baseada em fatos e dados, dos pontos fortes e fracos do projeto.

Ela se caracteriza por uma tabela com duas colunas, sendo a “boa” subdividida em forças e oportunidades e a coluna “ruim” dividida em fraquezas e ameaças. Ambas as colunas mostram os fatores externos e internos, sendo colocado entre 2 e 3 itens em cada.

7. Resultados

Apresentam-se aqui todos os dados obtidos e previamente trabalhados em termos tabulares, gráficos e estatísticas.

7.1. Aspectos gerais.

O estudo realizado por Kuroki (2018) ilustra a importância de uma pesquisa acerca da restauração dos córregos estudados. A Figura 34 mostra que nos três locais mais da metade da população considera tal atividade importante, sendo no R1 e R3 essa a opinião de 80% da população local. Além disso, nenhum morador entrevistado respondeu ser desnecessário tal trabalho.

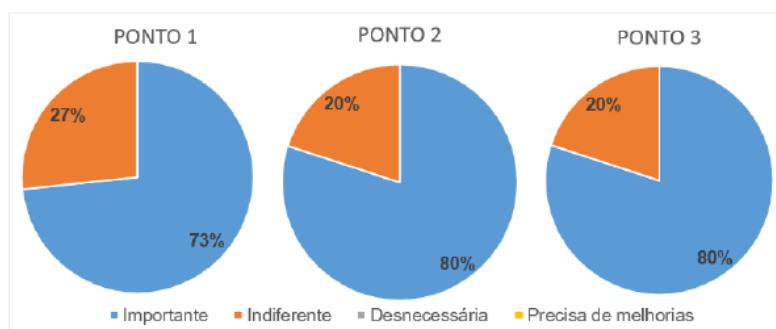


Figura 34: Categorização das respostas obtidas a partir da pergunta: “Qual sua opinião sobre a atividade? ”.(KUROKI. p. 31,2018).

Desde a implantação das intervenções nos três córregos em questão, realizada em fevereiro deste ano, pode-se destacar as seguintes modificações nos pontos de intervenção identificados nas Figuras 35,36 e 37.

No R1 houve um crescimento, em torno de 4 semanas, de vegetação aquática em todos os sacos de brita colocados. Durante o período de coleta, foi possível perceber que essa vegetação chegou a atingir altura próxima a 1 metro. Esse fato apresentou uma variação após grandes chuvas, quando a vegetação acabava por se tornar mais baixa, porém sem grandes perdas de quantidade de plantas. Além disso, houve um momento em que algum dos moradores da região executou a poda dessa vegetação. Mesmo assim houve um crescimento rápido logo após.



Figura 35: Crescimento de vegetação pós-intervenção no rio 1. Foto tirada pela autora em 29/09/2017.

No segundo rio (R2, Figura 36), as intervenções ficaram fixas durante um curto período de duas semanas, sendo aquelas localizadas mais próximas a água as mais resistentes. Houve uma tentativa de nova fixação das salsichas, mas após uma grande chuva as que restaram foram arrastadas e levadas pelo fluxo intenso da água. Mesmo diante disso, durante o tempo em que as salsichas estavam fixadas houve uma retenção de resíduos, especialmente de galhos secos, em todas as vezes em que foram feitas coletas.



Figura 36: Pouca ou nenhuma retenção de resíduos pós-intervenção no R2. Foto tirada pela autora em 29/04/2017.

No rio 3 (R3) as intervenções localizadas paralelamente ao curso d'água permaneceram fixas por um período mais longo, quando comparado com as do R2, aproximadamente quatro meses. Porém, mais curto quando comparadas com aquelas do R1, mesmo a localizada perpendicularmente do próprio R3 (Figura 37). As primeiras conseguiram reter uma quantidade significativa de resíduos (21m³), dentre eles principalmente folhas, galhos secos e plásticos provenientes de sacolas de supermercado. Em relação à intervenção localizada perpendicularmente ao curso d'água houve retenção de resíduos sólidos, incluindo quantidade significativa de lodo, areia e sedimentos existentes no próprio rio e resíduos domésticos, além de objetos como brinquedos, móveis e eletrônicos, pontualmente.



Figura 37: Retenção de sedimentos e/ou sólidos grosseiros pós-intervenção no rio 3.
Foto tirada pela autora em 10/06/2017.

7.2. Análises estatísticas das variáveis eco hidrológicas

As análises estatísticas dos dados têm como objetivo apresentar os resultados obtidos nos três trechos de rios, comparando os dois períodos em foco (pré-intervenção e pós-intervenção). São esses dados que irão informar o desempenho tanto dos materiais usados, quanto das técnicas, considerando as diferentes características dos três rios estudados.

Os gráficos apresentam os dados obtidos durante os dois anos de realização do projeto, incluindo assim: a fase anterior às intervenções e a fase posterior às intervenções, realizadas no dia 27 de fevereiro de 2017.

A seguir serão apresentados os gráficos nos quais houveram alterações estatísticas significativas dos seguintes parâmetros: condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, salinidade, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, temperatura da água e do ar, turbidez e vazão dos córregos. Os demais gráficos e resultados seguem no Anexo III.

Condutividade Elétrica

Na análise da condutividade elétrica foi observado que apenas a intervenção no R3 provocou diferença significativa (valor de $p = 0,0119$), com uma redução da condutividade após a intervenção (gráfico 1).

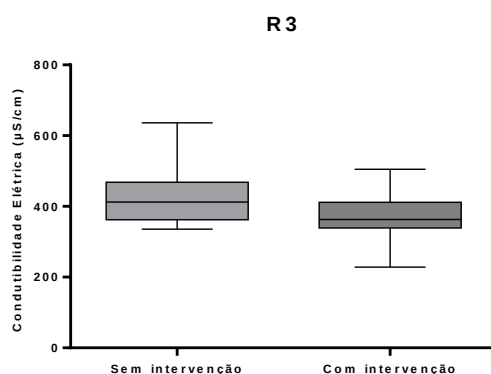


Gráfico 1: Teste de Mann-Whitney. Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): $p=0,0119$

Oxigênio Dissolvido

Para o oxigênio dissolvido (gráficos 2 a 4), foi constatada uma redução significativa para todas as intervenções (valor de $p < 0,0001$ para todas as intervenções)

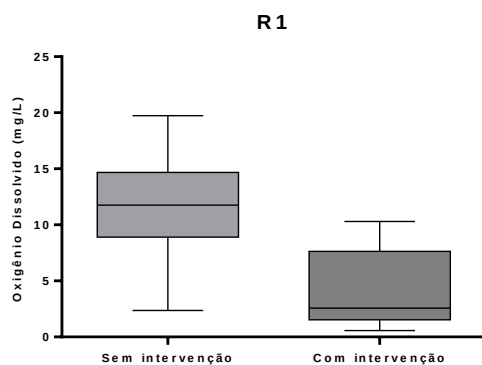


Gráfico 2: Teste de Mann-Whitney. Antes da Intervenção e Depois da Intervenção
(R1): $p < 0,0001$

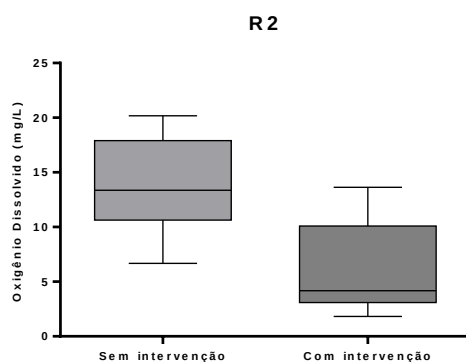


Gráfico 3: Teste de Mann-Whitney Antes da Intervenção e Depois da Intervenção
(R2): $p < 0,0001$

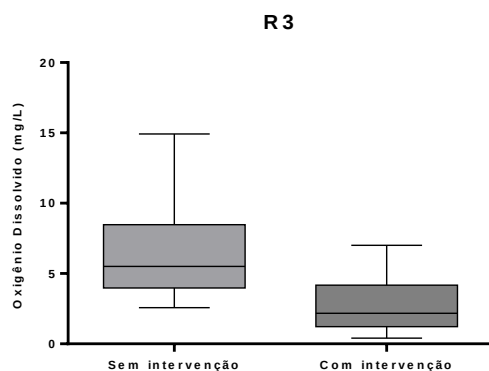


Gráfico 4: Teste de Mann-Whitney. Antes da Intervenção e Depois da Intervenção
(R3): $p < 0,0001$

pH

Redução significativa de pH (gráficos 5 e 6) foi observada com as intervenções nos rios 1 (valor de $p = 0,0148$) e 3 (valor de $p = 0,0079$).

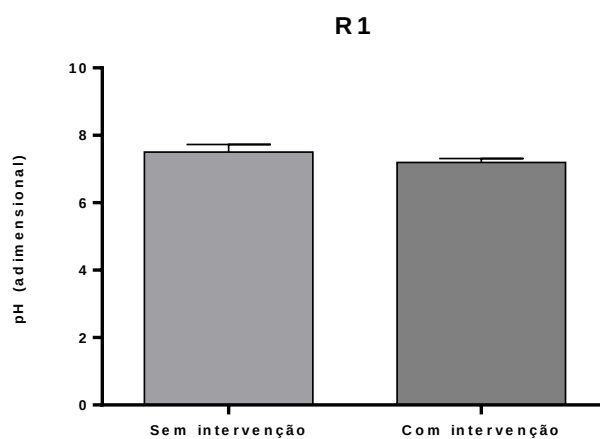


Gráfico 5: Teste t de student: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1):
 $p = 0,0148$

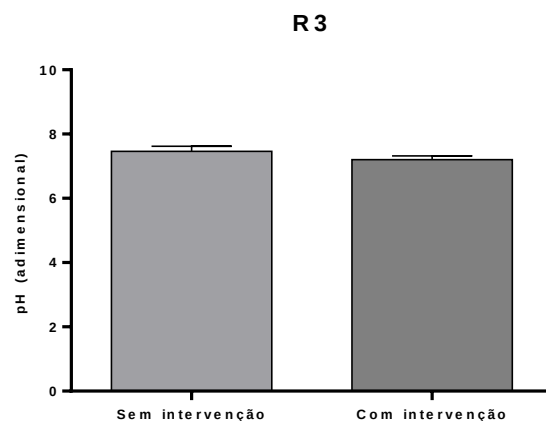


Gráfico 6: Teste t de student. Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3):
 $p=0,0079$

Salinidade

Para as análises de salinidade, foi comprovada diferença significativa apenas para a intervenção no Rio 3 (valor de $p - 0,0135$), sendo notada uma redução da salinidade após a intervenção (gráfico 7).

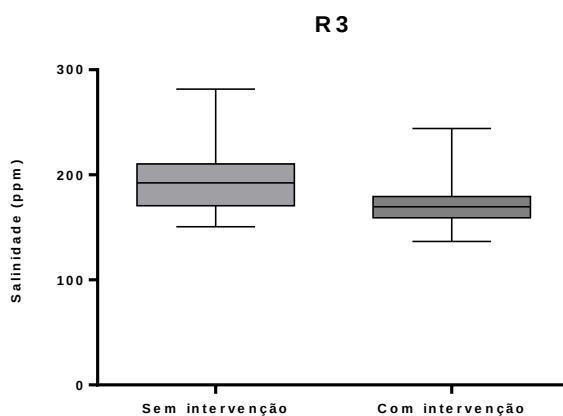


Gráfico 7: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): $p=0,0135$.

Sólidos Sedimentáveis

Na análise de sólidos sedimentáveis, foi observado um aumento significativo para a intervenção no rio 1 (valor de $p = 0,0137$), sem qualquer diferença significativa para as demais intervenções avaliadas (gráfico 8).

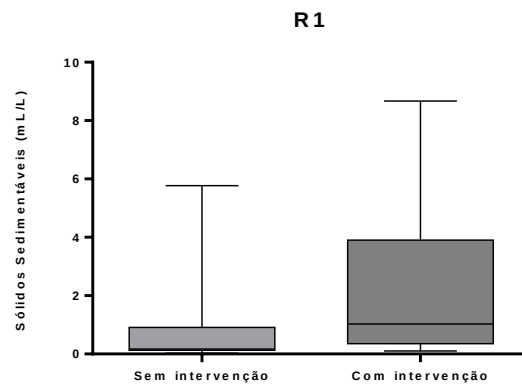


Gráfico 8: Teste de Mann-Whitney- Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1): $p=0,0137$.

Turbidez

A turbidez (gráfico 9) sofreu redução significativa na intervenção do rio 3 (valor de $p = 0,0339$).

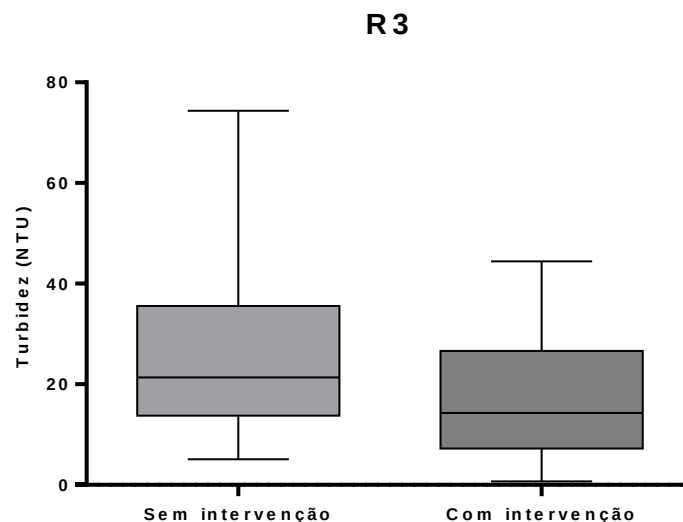


Gráfico 9: Teste de Mann-Whitney - Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3): $p=0,0339$.

Sólidos Totais, temperatura da água e do ar e vazão

Já nas análises dos sólidos totais (valores de $p \geq 0,1319$) não foram observadas diferenças significativas após nenhuma das intervenções (Anexo III).

Nas análises de temperatura da água (valores de $p \geq 0,6230$) não foram observadas diferenças significativas após nenhuma das intervenções. Assim como temperatura do ar também não sofreu efeito de nenhuma das intervenções aplicadas (valores de $p \geq 0,5791$).

A vazão também não apresentou diferenças significativas após a realização das intervenções.

Na análise de comparação das médias de variáveis (Tabela 2), após a intervenção, constatou-se que para todas as variáveis analisadas não foram observadas diferenças significativas entre os pontos de coletas de dados (montante, intervenção e jusante).

Tabela 2: Análise das médias das variáveis

Variáveis	Rio 1				Rio 2				Rio 3			
	Montante	Intervenção	Jusante	Valor de p	Montante	Intervenção	Jusante	Valor de p	Montante	Intervenção	Jusante	Valor de p
Condutividade elétrica	333,0 ^a (318,0-377,0)	340,0 ^a (317,0-392,0)	343,0 ^a (320,0-380,0)	0,9848 ^d	221,86 ^b (31,38)	223,10 ^b (31,42)	222,93 ^b (30,93)	0,9894 ^c	356,0 ^a (346,0-415,0)	358,0 ^a (337,0-410,0)	360,0 ^a (332,0-416,0)	0,9954 ^d
Oxigênio dissolvido	2,8 ^a (1,9-7,0)	2,7 ^a (1,8-7,2)	2,8 ^a (1,7-7,1)	0,9340 ^d	4,2 ^a (2,8-9,0)	4,0 ^a (2,8-10,4)	4,0 ^a (3,2-9,1)	0,8755 ^d	2,2 ^a (1,1-4,7)	2,1 ^a (1,0-4,1)	2,2 ^a (1,6-5,6)	0,6297 ^d
pH	7,19 ^b (0,29)	7,18 ^b (0,27)	7,21 ^b (0,26)	0,9241 ^c	7,19 ^b (0,29)	7,25 ^b (0,33)	7,27 ^b (0,38)	0,6679 ^c	7,19 ^b (0,27)	7,19 ^b (0,28)	7,21 ^b (0,29)	0,9285 ^d
Salinidade	158,0 ^a (151,0-179,0)	161,0 ^a (151,0-178,0)	155,0 ^a (151,0-175,0)	0,9545 ^d	96,3 ^a (90,4-120,0)	95,4 ^a (91,0-119,0)	96,0 ^a (91,3-119,0)	0,9941 ^d	169,0 ^a (159,0-181,0)	169,0 ^a (159,0-175,0)	163,0 ^a (149,0-187,0)	0,7089 ^d
Sólidos Sedimentáveis	1,4 ^a (0,5-9,5)	1,5 ^a (0,5-2,7)	1,0 ^a (0,4-2,3)	0,6622 ^d	0,5 ^a (0,1-0,6)	0,5 ^a (0,3-0,6)	0,2 ^a (0,1-0,8)	0,7907 ^d	1,0 ^a (0,6-3,4)	1,1 ^a (0,4-2,4)	1,2 ^a (0,5-2,0)	0,7521 ^d
Sólidos Totais	0,023 ^a (0,018-0,027)	0,025 ^a (0,019-0,048)	0,022 ^a (0,016-0,026)	0,3966 ^d	0,017 ^a (0,013-0,041)	0,017 ^a (0,013-0,028)	0,018 ^a (0,012-0,045)	0,9189 ^d	0,025 ^a (0,015-0,032)	0,024 ^a (0,019-0,031)	0,024 ^a (0,021-0,030)	0,8964 ^d
Temperatura da Água	22,12 ^b (1,80)	22,07 ^b (2,07)	22,20 ^b (2,68)	0,9783 ^c	20,69 ^b (1,78)	20,66 ^b (1,92)	20,77 ^b (2,10)	0,9805 ^c	22,10 ^b (2,28)	22,04 ^b (2,20)	22,04 ^b (2,13)	0,9946 ^c
Turbidez	3,50 ^a (2,23-11,63)	4,45 ^a (1,95-9,00)	2,99 ^a (1,51-8,76)	0,9293 ^d	3,85 ^a (1,81-8,71)	4,07 ^a (1,82-10,16)	3,83 ^a (1,84-10,76)	0,9944 ^d	13,92 ^a (5,54-25,11)	12,83 ^a (8,04-21,64)	9,36 ^a (7,31-23,63)	0,9756 ^d

^a Mediana (I IQ); ^b Média ± DP; ^c ANOVA one-way; ^d Teste de Kruskal-Wallis

7.3. Análise SWOT

A análise SWOT (Tabela 3) teve como objetivo mostrar os elementos mais vulneráveis de todo o quadro do projeto, que deveriam ser trabalhados com maior cuidado. Tudo isso levado em consideração também identificou os pontos positivos e fortes do projeto. Em ambos os casos os parâmetros apontados foram antes, durante e após a execução.

Tabela 2: Matriz SWOT resultante para o presente estudo.

	BOM	RUIM
	FORÇAS	FRAQUEZAS
INTERNO	Baixo custo de elaboração e execução	Dificuldade de implantação física
	Não dependência entre os projetos	Medição de outros parâmetros
	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
EXTERNO	Maior interação com a população	Interferência de terceiros retirando as intervenções
	Aproveitamento de material excedente de outro projeto	Mudança brusca do tempo (chuvas e ventos fortes)
	Maior visibilidade do rio pela população	

Sobre os pontos positivos, o primeiro a ser destacado é o baixo custo de elaboração e execução, refletindo claramente o objetivo inicial de se utilizar de técnicas simples e baratas e da bioengenharia. Foi um ponto que auxiliou a implementação das intervenções em relação ao tempo e à mão de obra.

A não dependência entre os projetos tem um elo com o item anterior por ter sido um facilitador de execução. Apesar de ter gerado outros trabalhos de grande significância e importância, a não dependência entre eles fez com que todos pudessem se desenvolver sem as complicações comuns (e maiores) relacionadas a projetos interdependentes.

Em relação a dificuldade física de implementação, um ponto específico foi a fixação das “salsichas” nos leitos. Isso ocorreu com maior intensidade no R2, visto a pouco ou até falta de espaçamento entre as placas de concreto que formam o leito.

A interação com a população foi bastante importante para a escolha de algumas intervenções e também para a manutenção das mesmas nos locais. Isso devido ao fato dessa interação gerar informações sobre o local durante os dias que não foram realizadas coletas e também sobre o passado do local. Essa contribuição de tamanha importância pode ser vista no trabalho de Kuroki (2018).

O aproveitamento de material está com certeza ligado ao primeiro item: o baixo custo de elaboração. O uso da bioengenharia foi bastante proveitoso na prática e também manteve o trabalho dentro do contexto da busca por melhorias ambientais, incluindo a reutilização de materiais evitando assim, a produção de lixo.

A visibilidade pela população foi algo primordial para que o projeto se mantivesse lá por todo o período. Apesar disso a retirada parcial e pontual das intervenções no R1 foi um ponto problemático. Isso não ocorreu em nenhum ponto ou momento. Logo, percebe-se que a interação com a população local tem essa grande importância de preservação das intervenções também.

As mudanças climáticas nesse período influenciaram em um momento de chuva intensa no dia 20 de agosto de 2016, fato que impossibilitou as coletas do R2 e R3 devido a alta incidência de raios no primeiro e a grande correnteza no segundo. É importante ressaltar que o período de estudo coincidiu com um ano atípico no regime de chuvas de Sorocaba.

Dentre os pontos negativos comuns a esse tipo de projeto Galatowitsch; Bohnen (2020) falam sobre a falta de incentivos financeiros e a dificuldade em manter o projeto dentro do esperado. O levantamento SWOT ajudou então, no balanço e adaptações desses pontos, para que o projeto pudesse ao menos conviver com esses desafios tão comuns. Serve também para que, no futuro, projetos similares tenham como base os pontos a serem mantidos, alguns apenas ajustados e outros até mesmo mudados.

8. Discussão

É importante lembrar que as técnicas aqui escolhidas foram pensadas especificamente para as condições dos locais de estudo. Isso é essencial para o sucesso desse tipo de intervenção, visto que apesar de existirem abordagens de recuperação semelhantes, cada local precisa ser estudado no seu âmbito espacial, assim como nas relações históricas entre os cidadãos com os rios (ZINGRAFF-HAMED et al., 2017).

Considerar o uso de soluções baseadas na natureza é o futuro da revitalização de rios urbanos. Elas são eficazes na redução do risco de inundação, são mais baratas do que as técnicas de engenharia tradicionais e conseguem trazer não só a melhora do ecossistema, mas também acresce no valor estético tão importante em um cenário urbano (OURLOGLOU et al., 2020).

Levando em conta que a resposta das comunidades biológicas às mudanças nas condições ambientais é dividida entre os grupos taxonômicos ali existentes e o ambiente aquático, quando se trata de uma resposta em um ecossistema aquático, deve-se incluir os diferentes lados. Um deles é o fator de perturbação, incluindo a qualidade da água e sua função ecológica (PANDER; GEIST, 2013).

Na análise de condutividade elétrica foi observado que apenas a intervenção no Rio 3 provocou diferença significativa (valor de $p = 0,0119$), com uma redução da condutividade após a intervenção. Essa redução pode ser justificada pela presença da barragem que reteve sólidos. A quantidade de chuva também pode afetar a condutividade: a água da chuva é, tipicamente, um pouco mais condutiva do que a água destilada, devido à dissolução de partículas suspensas no ar e gases que tendem a aumentar a condutividade (UFRGS, 2016). A chuva também, quando em grandes quantidades, tende a diluir o número de portadores de carga na água, reduzindo a condutividade, como em Calvi et al. (2018) onde esse evento meteorológico resultou nos menores valores de condutividade, entre 600–300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no estudo na Planície Interserrana Pampa, Argentina e, por fim, alterou o valor da vazão.

Para o oxigênio dissolvido, foi constatada uma redução significativa para todas as intervenções (valor de $p < 0,0001$ para todas as intervenções). O valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática, estabelecido pela

Resolução CONAMA nº 357/05(2) é de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Então, ao se analisar a mediana dos 3 rios considerando os 3 pontos analisados, todos estão abaixo deste valor, sendo os R1 e R3, os que apresentaram valores menores mesmo antes das intervenções. A variação significativa de oxigênio dissolvido, em alguns casos hipóxia, está relacionada ao comportamento do fluxo da água no local. Em um ambiente onde há pouca movimentação de água, acúmulo de material orgânico e despejo de nutrientes, há uma tendência da diminuição dessa concentração do oxigênio dissolvido (BLASZCZAK et al., 2018).

Dentre os locais de estudo, a variação na vazão foi pequena, especialmente nos R1 e R2, com valor de $p = 0,0007$ para ambos. Fato este que justifica essa diminuição descrita na análise estatística.

Também foi observada a redução significativa de pH com as intervenções nos rios 1 (valor de $p = 0,0148$) e 3 (valor de $p = 0,0079$). Essa acidificação do pH pode ser explicada pelo desequilíbrio presente em ambos os rios, que apresentam grande quantidade de esgoto, portanto as intervenções feitas não puderam agir de forma a atingir esses fatores.

Para as análises de salinidade, foi comprovada diferença significativa apenas para a intervenção no Rio 3 (valor de $p = 0,0135$), sendo notada uma redução da salinidade após a intervenção. Estévez et al. (2018) fazem uma relação clara entre a urbanização e as alterações nos valores de salinidade, mesmo sendo um estudo realizado na Espanha, há um apontamento do aumento e não da redução, igual o visto aqui. Esse dado está relacionado e justifica a diminuição da condutividade elétrica.

Foi observado um aumento significativo na análise de sólidos sedimentáveis para a intervenção no rio 1 (valor de $p = 0,0137$), sem qualquer diferença significativa para as demais intervenções avaliadas.

Já para as análises de sólidos totais (valores de $p \geq 0,1319$) e temperatura da água (valores de $p \geq 0,6230$) não foram observadas diferenças significativas após nenhuma das intervenções. A temperatura da água e do ar se mantiveram de acordo com o padrão de sazonalidade esperado para a cidade, sendo então fatores que não apresentaram variações significativas.

A turbidez sofreu redução significativa na intervenção do rio 3 (valor de $p = 0,0339$) e menores valores de vazão foram observados para as intervenções dos rios 2 e 3 (valor de $p = 0,0007$ para ambos). Sendo a vazão um fator que é influenciado por fatores externos à intervenção como o regime de chuvas e a carga provinda de esgoto.

A análise de comparação das médias de variáveis após as intervenções (Tabela 2) constatou que, para todas as variáveis analisadas, não foram observadas diferenças significativas entre os pontos de coleta de dados (montante, intervenção e jusante).

Os materiais usados para as intervenções foram todos comprados ou conseguidos de maneira simples, seguindo o objetivo desse trabalho de manter intervenções de baixo custo.

Houve apenas, como já foi dito anteriormente, alguma dificuldade de fixação das intervenções nos locais onde não haviam espaços entre as placas de concreto do leito.

Consequentemente, é possível dizer que o uso desses materiais foi efetivo no âmbito econômico de baixo custo e também no âmbito de boa funcionalidade e durabilidade.

Os sacos de juta foram utilizados sozinhos com a brita, visto que sua trama era mais fechada, conseguindo reter todo o material. Sua fixação no leito do R1 foi fácil, nos locais onde havia a conexão de duas placas de concreto, onde a existência de terra facilitou a colocação da estaca de ferro. Estes também se mantiveram resistentes durante toda a realização do projeto, sendo inclusive ótimas bases para o desenvolvimento e fixação de plantas.

Em relação à intervenção realizada no rio 1 (R1), a colocação de um número maior de sacos semelhantes aos utilizados é uma abordagem que poderá mostrar resultados com mais significância. Essa ação contribuiria para melhores resultados, pois haveria uma área maior com a intervenção e assim maiores chances de respostas rápidas e eficazes mesmo considerando que durante todo o período os sacos colocados se mantiveram presos. Essa colocação pode também reforçar a maneira pela qual estes foram fixados e aprimorá-la, evitando possíveis deslocamentos em dias de alto fluxo de água, especialmente pós-chuva.

A Figura 38 mostra a grande quantidade de plantas que se desenvolveram no local onde foi feita a intervenção. Logo, pensando na abordagem de um local maior seria claramente perceptível os impactos positivos. Essa Figura mostra o início de um substrato similar à ideia proposta em alagados construídos (*constructed wetlands*).



Figura 28: Intervenção R1. Foto tirada em 24/02/2018.

Em relação ao tempo de vida útil das estruturas implementadas, concluiu-se que o tule é um material satisfatoriamente resistente para os propósitos desejados pela equipe de pesquisa. Mesmo em contato direto com a água, incluindo grandes e pequenas vazões, ele se manteve resistente e integro durante todo o tempo do projeto. O tule serviu apenas como suporte para as salsichas utilizadas no R2 e R3, evitando que as britas escapassem pela trama da juta.

No caso apresentado no rio 2 (R2), as intervenções realizadas não conseguiram permanecer por todo o período de coleta de dados. Ao se analisar o porte desse rio, vê-se que comparado com dos dois outros onde foram feitas intervenções, possui um porte bem maior. Assim, conclui-se que obras de bioengenharia não são o melhor caminho para revitalização desse local, ficando uma obra civil como solução cabível para o mesmo. A Figura 39 mostra a existência de degraus ao longo de todo esse trecho estudado e essa pode ser considerada como uma possibilidade de obra a ser realizada para que aja uma maior movimentação da água e consequentemente maior oxigenação.



Figura 39: Intervenção R2. Foto tirada em 24/02/2018.

Além disso, esse formato em degraus evita que a velocidade da água seja muito alta e araste os sedimentos que são possíveis substratos para o desenvolvimento de plantas aquáticas.

Mohan et al. (2020) ressaltam que a escolha das espécies para um projeto de restauração deve ser feita de modo específico para o local de estudo, usando sempre de espécies vegetais nativas mais adequadas, considerando também os parâmetros morfológicos do rio.

A Figura 40 foi feita em novembro de 2018 e mostra um crescimento de vegetação em alguns dos degraus. Esse fato corrobora a ideia de que esse crescimento apenas se dá quando os bancos de sedimentos se mantêm parcialmente molhados. Isto é reafirmado quando comparado a presença de vegetação no R1, onde o substrato é parcialmente molhado e a não existência de vegetação no R3, onde a barragem resultou em um acúmulo de sedimentos encharcados em todo o tempo. Nesse rio também é importante ressaltar que qualquer intervenção feita sofrerá a influência dessa variação constante da quantidade de areia ali presente.



Figura 40: R2 em dezembro de 2018.

A tela plástica, que foi utilizada para a criação da pequena barragem no R3 mostrou-se extremamente resistente durante todo o período, considerando sua alta capacidade de retenção de sedimentos e resíduos sólidos. Para que não houvesse escape da brita foi necessário apenas fazer um rolo com duas ou três voltas, para que sua trama se tornasse mais fechada.

No rio 3 (R3) o maior problema, visto claramente, foi a grande presença de esgoto doméstico (Figura 41). Como primeira ação no local, o tratamento desse esgoto, seria uma solução clara e muito eficaz, porém não foi a proposta deste trabalho fazer isso e sim trazer intervenções pontuais. Assim, a bioengenharia neste caso é uma grande aliada, considerando a possibilidade da colocação de mais uma barragem, localizada mais próxima a parte alta (montante). Aliado a isso, a colocação de degraus também

seria uma opção viável e benéfica, possivelmente influenciando a oxigenação da água de maneira física.

O oxigênio dissolvido é com certeza um fator crítico quando se trata da qualidade da água. A hipóxia é uma ameaça para a saúde de um rio, assim como pode trazer perdas econômicas e a redução da biodiversidade. Além disso, como visto por Post et al. (2018), o odor comum às regiões de pouca oxigenação na água traz um impacto ao uso deste curso d'água como lazer local, fato que foi claramente percebido nos três locais de estudos, especialmente no R3.



Figura 41: Intervenção R3. Foto tirada em 24/02/2018

A presença constante de esgoto no R3 demonstra a ideia trazida por Costa et al. (2020), que apontam os efeitos negativos, tanto na população quanto no rio da ausência ou ineficiência da coleta e tratamento de efluentes sanitários sendo a poluição e as doenças os principais problemas, respectivamente.

Considerando todas as análises relacionados à restauração ecológica de rios, não foi possível comparações totais das características dos locais aqui estudados. Trabalhar com leitos de rios que foram concretados ainda é um ponto que necessita de mais estudos para que intervenções de baixo custo e impactos sejam feitas. Atualmente existem apenas estudos para ambientes não concretados ou para aqueles concretados que irão sofrer grandes obras de engenharia para sua restauração.

Um leito ou secção pequena de um rio não apresentam uma amplitude da variação da velocidade média da água (Chengcheng et al., 2018). Tal pode ser um ponto do presente trabalho onde alguns parâmetros analisados, que se relacionam com a velocidade da água, não apresentaram diferenças significativas de valores após a realização das intervenções.

Apesar disso, para que se possa desenvolver um projeto de restauração em maiores escalas é imprescindível a coleta e análise de todos os dados obtidos em pequenos projetos como esse. É através deles que se constrói uma base para o desenvolvimento (LADOUCEUR; SHACKELFORD, 2020).

A restauração de um ecossistema aquático pode ter mais sucesso quando orientada de modo sistemático, guiado e integrado (PANDER, GEIST, 2013). A gestão sustentável de bacias hidrográficas urbanas requer criação de equipes de pesquisa interdisciplinares que abordem questões de pesquisa e tecnologias diversas adequadas para cada situação.

O projeto de restauração resultou em pontos positivos, visto que poderá e deverá ser usado como referências para projetos futuros em que o local de atuação apresente características semelhantes ou até mesmo onde os objetivos sejam similares. Ressalta-se que como visto, algumas intervenções necessitam de melhorias ou adaptações para melhor funcionamento. Além disso, deve atentar-se ao fato de que por existirem poucos projetos similares ainda há muito o que se estudar e desenvolver.

Dentre os pontos positivos observados, a intervenção feita com a população local mostrou que projetos no âmbito da restauração de córregos urbanos são bem vistos e até mesmo esperados (KUROKI, 2018). Isso tem grande valia, pensando em uma fase pós-intervenção e também de manutenção autônoma, uma vez que já se sabe a importância da população local para a continuidade em intervenções bem-sucedidas.

As políticas geralmente abrangem um âmbito instrumental e intervencionista em relação ao planejamento urbano, visto que elas usam como base os processos técnicos e ambientais (KOSTER, 2019). Como estas são a ponte e os espaços urbanos e a população, a integração entre esses dois lados é de extrema importância e cada vez mais se mostra benéfica.

Wantzen et al. (2019) acreditam que os rios, com foco naqueles do hemisfério sul, sofram com o conjunto de problemas biofísicos sofridos por rios urbanos relacionando a percepção e relações sociais locais e os possíveis projetos de restauração desses rios. Assim, o caso aqui apresentado, como tantos outros no Brasil, se enquadram nessa mesma categoria.

O âmbito social é então um fator inovador e bastante positivo para a revitalização de cursos d'água, sendo ele juntamente como novas tecnologias, como as aqui descritas, um norteador de projetos do mesmo gênero (DARWICHE-CRIADO et al., 2017).

Ao relacionar os apontamentos da análise SWOT, foi possível perceber que, dentre os fatores internos, a não dependência dos projetos foi de grande valor neste projeto, uma vez que as situações estudadas foram bastante diferentes entre si e o objetivo não foi a comparação das técnicas diferentes em ambientes semelhantes. É importante ressaltar a interação com a população local, apesar da pontual discordância, quando houve a intervenção no R1. Esse fator mostrou a preocupação de grande parte da população local com a melhoria na qualidade desses rios. Logo, o uso desse tipo de análise tem grande valia ao iniciar projetos, especialmente aqueles, como este que dependem de fatores externos aos dos envolvidos diretamente.

Covarrubia; Rayburg; Neave (2016) comparando rios de áreas urbanas, sendo elas residenciais ou industriais, reforçaram a ideia de que a qualidade da água dessas

regiões se mantêm inferior a de regiões agrícolas. No contexto deste estudo vale lembrar que essas áreas apresentam uma mistura de residências e indústrias, fato este que contribui fortemente para degradação desses ambientes.

Como é sabido, a restauração do rio é uma ciência prática que aprende com o sucesso e o fracasso. As respostas ecológicas e sociais às medidas de restauração levam tempo e, assim como o processo de aprendizagem que precisa de observação de campo a longo prazo e exige um estudo comparando o status anterior e pós-restauração.

Outro ponto importante é de os locais de estudo terem sido pequenos trechos de rios e, como já visto por Chengcheng et al. (2018), para que hajam boas e significativas mudanças e assim respostas a intervenções é necessário que secções maiores sejam avaliadas em projetos futuros.

As intervenções realizadas tiveram como objetivo a formação de um substrato adequado para o desenvolvimento de espécies vegetais e posteriormente animais. Levando isso em consideração é interessante fazer uma conexão com as famosas wetlands, ou alagados construídos. Nelas as macrófitas tem como função a estabilização da superfície do leito, fornecer boas condições de filtragem física, prevenir o entupimento de fluxos verticais, isolar contra congelamentos e promover uma boa área de superfície para a fixação e crescimento microbiano (BRIX, 1994).

Embora os processos de inundação estejam relacionados a causas naturais, a intensificação especialmente em áreas urbanas se dá, devido a mudanças na superfície, regime de chuvas intensas, a geometria da bacia ou a combinação de um ou mais desses fatores (LUGON et al., 2019). Isso tudo resulta em impactos negativos na sociedade como um todo, especialmente para aquelas populações que vivem ao redor dessas regiões. Os três locais estudados apresentam histórico de transbordamento. Porém, atualmente o R2 não é mais afetado depois que este sofreu intervenções de concretagem em parte do seu curso. O R1 apresenta histórico de poucas ocorrências e o R3 a maior incidência ainda se dá 50 metros a jusante a partir do terceiro ponto da coleta. Isso se deve ao fator da declividade local.

Apesar disso, dentre os três trechos estudados os problemas de inundação não foram observados durante o período de estudo. Podendo esse ser considerado um fator positivo, visto que tal ocorrência acaba sendo comum em rios urbanos.

Mesmo a mudança de leitos de rios urbanos sendo uma prática comum e que geralmente tem como objetivo a melhoria ou a adequação do mesmo para esse ambiente urbano, Gurnell (2007) afirma que em alguns casos já é visto que a capacidade de adaptação dos rios a novos cenários adjacentes acontece de modo que não haja tamanha necessidade de modificações e intervenções de engenharia. No entanto, é necessário que haja o monitoramento de tais áreas, uma vez que essa adaptação nem sempre é suficiente para que não haja prejuízos ao curso d'água e também à população local.

Isso vem em adição as diferenças na abordagem feita em relação a “síndrome de rios urbanos” no quesito sócio econômico. Booth et al. (2015) ressaltam que, mesmo sendo uma situação atual e recorrente no cenário mundial, as abordagens feitas e a visão para o problema variam de acordo com os contextos sócio econômicos e institucionais de cada local. Para Capps et al. (2016) fatores ambientais, sociais e econômicos podem fazer com a síndrome do rio urbano se expresse de modos diferentes em países de acordo com a sua alta ou baixa renda. Assim, os rios de Sorocaba e tantos outros no Brasil merecem uma abordagem específica e não necessariamente igual a de países desenvolvidos.

Embora a concepção predominante de drenagem urbana no Brasil ainda seja baseada no "sistema clássico", é desejável sua complementação por técnicas novas e mais sustentáveis (TAVARES et al., 2018), daí a importância das técnicas aqui estudadas e do uso da bioengenharia.

Esse uso dos rios com leitos concretados ainda é também um exemplo desse sistema clássico e que tinha como objetivo evitar inundações em grande parte dos projetos, porém o uso de modelos matemáticos 1D/2D já se mostraram eficientes na previsão de possíveis áreas de risco como foi visto em Portugal, sendo assim mais um fator importante a ser considerado antes da decisão de canalização de um rio (CARDOSO et al., 2020).

9. Considerações Finais

Os cursos de água são degradados, assoreados e poluídos por esgotos domésticos clandestinos, embora os planos municipais contenham diretrizes importantes para a preservação das áreas ao longo dos corpos de água. Isso mostra que existe um modelo de gestão urbana inadequado que implica uma falta de integração entre o meio ambiente e as áreas urbanas.

O presente trabalho buscou então possíveis ações para três trechos com diferentes características entre si, porém com o mesmo objetivo de trazer melhoria para o local de estudo.

Não se pode esquecer que, locais como o R3, onde foi percebido o lançamento de esgoto, que esse tipo de situação já é presente. Assim, as ações aqui testadas foram apenas corretivas para o problema já existente e não visaram mudar tal realidade.

Apesar de serem rios diferentes, não sendo traçado aqui um estudo comparativo entre eles, é importante salientar os resultados mostrados pelo R1 no que diz respeito estritamente ao crescimento da vegetação, não da qualidade da água como analisado no âmbito dos três rios.

A bioengenharia tem como objetivo uma melhoria no sentido estético e visual dos recursos hídricos e isso contribui para que tanto a implementação quanto a manutenção desses projetos sejam facilitadas e apoiadas pela população local. Assim, o objetivo de utilizar técnicas de bioengenharia inicialmente proposto foi atingido, uma vez que tanto as “salsichas” quanto a barragem foram novas técnicas aqui desenvolvidas e que já apresentaram alguns efeitos nos locais onde foram implantadas. Em adição a isso, as técnicas também se mostraram adaptáveis aos diferentes contextos estudados.

Esse sistema criado teve um pedido de patente feito ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial - Ministério da Economia (INPI). Esse pedido tem como título: Sistema Indutor e Direcionador de Recuperação Ecológica de Córregos com Leito Concretado, foi depositado no dia 25 de julho de 2018 e publicado no dia 28 de janeiro de 2020. No momento, está em processo de análise.

O levantamento de informações por todo período de estudo também foi feito de maneira a possibilitar a comparação de dados anteriormente e posteriormente às intervenções.

A resposta eco-hidrológica foi avaliada através dos dados coletados e após análise estatística de todos.

A análise SWOT foi uma ferramenta bastante interessante usada aqui, uma vez que possibilitou um claro levantamento dos diferentes aspectos abordados. Além de ter auxiliado no momento é de suma importância para ser usada no futuro, como base, em projetos semelhantes a esse, dando continuidade e melhoramento às técnicas aqui desenvolvidas e estudadas.

Em relação à ausência de peixes, uma hipótese seria de os córregos terem sua lâmina de água diminuída após a canalização e isso dificultar a presença deles no local.

Para um próximo projeto talvez seja interessante o uso de diferentes materiais para o preenchimento dos sacos de juta e das “salsichas”, assim como escolher ambientes com características semelhantes para que se possam fazer boas comparações.

Outro ponto bastante interessante seria fazer a remoção mecânica do resíduo sólido retido nas barragens e sua pesagem como meio de calcular o impacto do que acontece a montante, assim como em um outro momento dos efeitos a jusante.

Zingraff-Hamed et al. (2017) também lembram que propostas de recuperação estão relacionadas às políticas da esfera municipal, estadual e federal. Sendo assim, para uma realidade brasileira é necessário um estudo de adaptações e alteração dos principais estudos feitos por países mais desenvolvidos na área de recuperação de recursos hídricos, como na Europa e nos Estados Unidos.

Apesar de algumas limitações práticas durante o projeto, os resultados obtidos foram de ordem mais geral do que pareciam ser, trazendo pontos a serem trabalhados para atingir um resultado mais pontual e que se possa ampliar em novos ambientes. Além disso, o presente estudo conseguiu superar as limitações metodológicas relacionadas ao uso de materiais e também à fixação de intervenções. Fato que possibilitou um bom custo-benefício que será de grande valia em futuros trabalhos.

Justamente por serem cada vez mais impactadas pela atividade humana é imprescindível que haja muitos estudos para a compreensão das bacias hidrográficas, dos córregos urbanos e da ecologia. Isso vem juntamente com a busca de ações para a solução da tão atual síndrome do fluxo urbano.

Concluindo, os resultados sugerem que, no futuro, a restauração de riachos urbanos deve considerar soluções baseadas na natureza, uma vez que elas podem ser eficazes no que diz respeito à redução do risco de inundação e são mais baratas do que as técnicas tradicionalmente "cinzas".

10.Referências Bibliográficas

ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Reviews of Ecology and Systematics**, School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan. v. 35:1, p. 257-284, 2004.

ARANGO, C. P.; JAMES, P. W.; HATCH, K. B. Rapid ecosystem response to restoration in an urban stream. **Hydrobiologia**. Department of Biological Science, Central Washington University, Ellensburg, WA, USA. ed.749, p.197–211, 2015.

AYLA, J. G.; JUÍZO, D. Strategic implementation of integrated water resources management in Mozambique: An A’WOT analysis. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Maputo, Mozambique, v. 36, n. 14–15, p. 1103-1111, 2011.

BAPTISTA, M.N., et al. Impact of Urbanization on the Hydrodynamics of a Water Table in a Floodplain with High Potential for Renaturation. **Water Resources Management**. Rio de Janeiro, Brazil, v. 31, p. 4091-4102, <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1731-5>, 2017.

BEECHIE, T. J. et al. Process-Based Principles for Restoring River Ecosystems. American Institute of Biological Sciences. **BioScience**, v.60, n.3, p. 209-222, 2010.

BECHARA, F. C. **Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. Tese (Doutorado em recursos florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 249 p., 2016.

BERTILSSON et al. Urban flood resilience: A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. **Journal of Hydrology**, Lund University, Sweden, v. 573, p. 970-982, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052>, jun. 2019.

BLASZCZAK et al. Scoured or suffocated: Urban stream ecosystems oscillate between hydrologic and dissolved oxygen extremes. **Limnology and Oceanography**, Nicholas School of the Environment, Duke University, Durham, North Carolina, v. 64, p. 877-894, doi:10.1002/lno.11081, 2018.

BLAU, M.L.; LUZ, F.; PANAGOPOULOS, T. Urban River Recovery Inspired by Nature-Based Solutions and Biophilic Design in Albufeira, **Land** Portugal,7, 141. <https://doi.org/10.3390/land7040141>, 2018.

Blazy, R. Revitalization of Riverside Boulevards in Poland–A Case Study on the Background of the European Implementation. **In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Vol. 603, No. 4, p. 042102, 2019.

BOOTH et al. Global perspectives on the urban stream syndrome. **Freshwater Science**, University of Chicago, Chicago, v. 35, n.1, p. 412-420, doi: 10.1086/684940, 2015.

BORTOLETO, L. A. **Seleção e diretrizes para o design de conectores ecológicos: uma abordagem metodológica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Engenharia, UNESP, 153 p., 2019.

BOULTON, AJ et al. The functional significance of the Hyporheic zone in stream and river. **Annual Review of Ecology and Systematics**, University of New England, Armidale, New South Wales, 2351 Australia, v. 29, p.59-81. 1998

BRENDEHAND, E. **Evaluation of macro-invertebrates as bio-indicators of water quality and the assessment of the impact of the Klein Plass dam on the Eerst River**. Thesis for the degree of Master of Science at the University of Stellenbosch Faculty of Agrisciences. Dept. of Conservation Ecology and Entomology. 180 p. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde**. – Brasília: Ministério da Saúde – (Série B. Textos Básicos de Saúde), 212 p., 2006.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9985.htm>>. Acesso em: agosto de 2020.

BRIX, H. Functions Of Macrophytes In Constructed Wetlands. **Water Science & Technology** . Institute of Biological Sciences, Department of Plant Ecology, University of Aarhus, Nordlandsvej ,Risskov (Denmark), v. 29, n.4, p. 71-78. 1994.

BRUNKE, M.; GONSER, T. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. **Freshwater Biology**, Limnological Research Centre, Department of Limnology, EAWAG, Kastanienbaum, Switzerland v. 37, p. 1–33. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00143.x>, 2003.

BUKAVECKAS, P. A. Effects of channel restoration on water velocity, transient storage, and nutrient uptake in a channelized stream. **Environmental Science and Technology**, Center for Environmental Studies, Department of Biology, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia , v.41, p. 1570–1576, 2007.

CALVI, C. et al. Relationship between electrical conductivity, 18O of water and NO₃ content in different streamflow stages. **Environmental Earth Sciences**, Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA), Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina, v.77, p.248, doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7427-1>, 2018.

CAMACHO, S. **Intervenções em corpos hídricos urbanos: uma visão da atual conjuntura no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Ilha Solteira, 155 p., 2016.

CAMPANHA, M. B. et al. A 3-year study on occurrence of emerging contaminants in an urban stream of São Paulo State of Southeast Brazil. **Environment Science and Pollution Research**, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brazil, v. 22, p. 7936–7947, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3929-x>, 2015.

CAPPS, K.A.; BENTSEN, C.N.; RAMÍREZ, A. Poverty, urbanization, and environmental degradation: Urban streams in the developing world. **Freshwater Scientific**, University of Chicago, Chicago, v.35, p. 429–435, 2016.

CARDOSO et al. 1D/2D stormwater modelling to support urban flood risk management in estuarine areas: Hazard assessment in the Dafundo case study. **Journal of Flood Risk Management**, Hydraulics and Environment Department, LNEC: National Civil Engineering Laboratory, Lisbon, Portugal. n. 2663, doi: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12663>, 2020.

CEPAGRI. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura**. Unicamp. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/index.html>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

CHENGCHENG, W. et al. **Study on Characteristics of Water Flow Under Different Riverbed Structures in River Narrowing Section**. MATEC Web Conference, College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Sichuan Agricultural University, Sichuan, Ya'an, v. 246, 7 p. DOI: 246.02044. doi: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824602044>, 2018.

CHEUNGA, H. et al. Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications. **Composites Part B: Engineering**, Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, SAR, China, v. 40, n.7, p. 655-663, out. 2009.

CMS (Câmara Municipal de Sorocaba). **História da Cidade de Sorocaba**. Disponível em: <http://www.camarasorocaba.sp.gov.br/sitecamara/historiasorocaba.html;jsessionid=09ee9fa917d7105f0fad43a8db0d>. Acesso em outubro de 2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). (1999) **Norma Técnica Interna SABESP NTS 013**. Disponível em: www.sabesp.com.br. Acesso em: maio de 2019.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Alterações Físicas e Químicas**. In: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/>. Acesso em: 6 de maio de 2020.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE), **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 8 de agosto de 2018.

COSTA, D. D. A. et al. On water resources management instruments-framing-as a tool for river rehabilitation. **Saúde em Debate**, Universidade Federal do Rio de Janeiro

(UFRJ), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil. ,v. 43, p. 35-50, 2020.

COVARRUBIA, J. C.; RAYBURG, S.; NEAVE, M. The influence of local land use on the water quality of urban rivers. **International Journal of GEOMATE**, v. 11, n. 23, p. 2155-2161, Geotechnique, Construction Materials and Environment, Japan, jul., 2016.

DARWICHE-CRIADO, N. et al. Effects of wetland restoration on nitrate removal in an irrigated agricultural area: The role of in-stream and off-stream wetlands. **Ecological Engineering**, Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, Av. Victoria s/n, 22700 Jaca, Huesca, Spain, v. 103, Parte B, p. 426-435, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.016>, jun., 2017.

ENGEST, K. et al. Functional community ecology meets restoration ecology: Assessing the restoration success of alluvial floodplain meadows with functional traits. **Journal of Applied Ecology**, Martin Luther University Halle-Wittenberg, Institute of Biology/Geobotany and Botanical Garden, Halle, Germany, v. 53, p.751-764. Germany, 2016.

EPSTEIN, D.M.; KELSO, J.E.; BAKER, M.A. Beyond the urban stream syndrome: organic matter budget for diagnostics and restoration of an impaired urban river. **Urban Ecosystems**, Department of Biology and the Ecology Center, Utah State University, 5305 Old Main Hill, Logan, UT, USA, v.19, p. 1623–1643. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0556-y>, 2016.

ESTÉVEZ et al. Drivers of spatio-temporal patterns of salinity in Spanish rivers: a nationwide assessment. *Philosophical Transactions Royal Society B* 374: Grup de recerca FEHM (Freshwater Ecology, Hydrology and Management), Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Institut de Recerca de l'Aigua (IdRA), Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain. v. 374, Issue 1764, doi: 20180022. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0022>, dez., 2018.

GALATOWITSCH, S; BOHNEN, J. Predicting restoration outcomes based on organizational and ecological factors. **Restoration Ecology**. Department of Fisheries, Wildlife and Conservation Biology, University of Minnesota, Saint Paul, MN, U.S.A. 12 p. doi: 10.1111/rec.13187, 2020.

GIORGIO, C. T. **Diagnóstico preliminar das condições física, química e biológica do trecho de três córregos urbanos localizados em Sorocaba-SP.** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Engenharia Ambiental – ITCS – UNESP, Sorocaba, SP, 67 p., 2017.

GURNELL, A.; LEE, M.; SOUCH, C. Urban rivers: hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. **Geography Compass**, Department of Geography, King's College London, v.1, n.5, p.1118-1137. 2007.

HALE, R. L et al. Effects of climate on the expression of the urban stream syndrome. **Freshwater Science**, Department of Biological Sciences, Idaho State University, Pocatello, Idaho, USA v.35, n.1, p. 421– 428, doi: <https://doi.org/10.1086/684594>, 2016.

HELMS, M. M.; NIXON J. Exploring SWOT analysis – where are we now? A review of academic research from the last decade. **Journal of Strategy and Management**, School of Business, Dalton State College, Dalton, Georgia, USA, v. 3, issue 3, 37 p. Ago., 2010.

HOEKSTRAL, A. Y.; BUURMAN, J. VAN GINKELL, K. C. H. Urban water security: A review. **Environment Restoration**. Letter, Twente Water Centre, University of Twente, Enschede, The Netherlands v.13, n 5., 2018.

HOBBS, R. J.; CRAMER, V. A. Restoration ecology: Interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. **Annual Review of Environmental and Resources**, School of Environmental Science, Murdoch University, Murdoch, Western Australia, v. 33, p. 39-61, <https://doi.org/10.1146/annurev.envIRON.33.020107.113631> 2008.

HOBBS, R. J., HALLETT, L. M., EHRLICH, P. R. Intervention Ecology: Applying ecological science in the twenty-first century. **Bioscience**, Oxford, England, v. 61, n. 6. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.6.6>, 2011.

HONG, C. Y., CHANG, H.; CHUNG, E. S. Resident perceptions of urban stream restoration and water quality in South Korea. **River Research and Applications**, Department of Geography, Portland State University, Portland, OR, USA. v.34, n.5, p. 481-492, <https://doi.org/10.1002/rra.3265>, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2019). **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2019.** Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/7d410669a4ae85faf4e8c3a0a0c649c7.pdf. Acesso: agosto de 2020.

JANSSEN, P.; CAVAILLÉ, P.; BRAY, F., EVETTE, A. Soil bioengineering techniques enhance riparian habitat quality and multi-taxonomic diversity in the foothills of the Alps and Jura Mountains. **Journal of ecological Engineering**, University Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, Grenoble, France, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.017>, 2019.

KOEPKE, J. Urban Stream Restoration and Applied Practices in Northeast Illinois. **Journal of Green Building**, v.12, n. 2, p. 13-27, <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.2.13>, 2017.

KOSTER, M. An Ethnographic Perspective on Urban Planning in Brazil: Temporality, Diversity and Critical Urban Theory. **International Journal of Urban Regional Research**, v. 44, p. 185-199, doi:10.1111/1468-2427.12765, 2020.

KUROKI, L. Y. **Avaliação do interesse e percepção ambiental de moradores do entorno dos trechos de três córregos urbanos submetidos à revitalização em Sorocaba-SP.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba. 44 p., 2018.

KURTH, A. M.; SCHIRMER, M. Thirty years of river restoration in Switzerland: implemented measures and lessons learned. **Environmental Earth Sciences**. Department of Water Resources and Drinking Water, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland v. 72, n. 6, p. 2065–2079, set., <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3115-y>, 2014.

LANGE et al. (2015). Model-based design for restoration of a small urban river. **Journal of Hydro-environment Research**. Technische Universität Berlin, Germany v.9, n. 2, p. 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.04.003>. Jun., 2015.

LADOUCEUR , E.; SHACKELFORD, N. The power of data synthesis to shape the future of the restoration community and capacity. **Restoration Ecology**. German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Leipzig-Halle-Jena, Leipzig, Germany Accepted Author Manuscript. doi:10.1111/rec.13251, 2020.

LUGON, J. et al. Reservoir implantation for flood dampening in the Macaé River basin using the Mohid Land model. **Ciência e Natura**, Instituto Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, v. 41, n.29, doi: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X31860>, 2019.

MADSEN, D. Ø. SWOT Analysis: A Management Fashion Perspective. **International Journal of Business Research**, University of South-Eastern Norway v. 16, n. 1, p. 39-56, 2016.

MAGLIOZZI, C. **Hydroecological investigations on the hyporheic zone to support river management from reaches to catchments** (Doctoral dissertation). Cranfield University, UK. 265 p., 2018.

MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. **Environmental Conservation**, Cambridge University v. 29, p. 134–153, <https://doi.org/10.1017/S0376892902000097> 2002.

MELLO, S. S. As funções ambientais e as funções de urbanidade das margens de cursos d'água. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, Campinas, v. 4, p. 49-61, dez., 2005.

MENEZES, J. P.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. **Revista Ambiente e Água**, v.10, n.4, Taubaté, out./dez., 2015.

MIGUEZ, M. et al. Urban Floods in Lowlands—Levee Systems, Unplanned Urban Growth and River Restoration Alternative: A Case Study in Brazil. **Sustainability**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, v.7, n.8, p.11068-11097, doi: 10.3390/su70811068 2015.

MOREIRA, P. A. P. **A restauração ecológica de córregos tropicais: estudo de caso do Córrego da Campininha, SP, Brasil**, Dissertação de mestrado pelo Programa de Pós- Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, 75 p., 2016.

NICHOLS, M. M. Consequences of dredging Hydrodynamics of Estuaries, **CRC Press**, . In. Kjerfve, B. (Ed.), Florida, pp. 89-99, 2018.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás**. Trabalho de conclusão de curso Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Goiás, Escola de engenharia civil e ambiental curso de engenharia ambiental e sanitária. 2015.

OURLOGLOU, O.; STEFANIDIS, K.; DIMITRIOU, E. Assessing Nature-Based and Cassical Engineering Solutions for Flood-Risk Reduction in Urban Streams. **Journal of Ecological Engineering**, Hellenic Open University, v.21, n. 2, p. 46-56, doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/116349>, 2020.

PANDER, J.; GEIST, J. Ecological indicators for stream restoration success. **Ecological Indicators**, Aquatic Systems Biology Unit, Department of Ecology and Ecosystem Management, Technische Universität München, Mühlenweg 22, D-85350 Freising, Germany, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.039>, 2013.

PAUL, M.J.; MEYER, J.L. Streams in the urban landscape. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia, v.32, p.333-365, <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>, 2001.

PALMER, M. A., et al. Standards for ecologically successful river restoration. **Journal of Applied Ecology**, Department of Entomology, University of Maryland, USA and Department of Biology, Duke University, USA, 42, p. 208-217, 2005.

PEREIRA, A. L. Princípios da restauração de ambientes aquáticos continentais. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia**, v.39 n.2, p. 1-21., 2011.

PERRING, M. P. et al. Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades. **Ecosphere**. School of Plant Biology, The University of Western Australia, Western Australia, Australia, v. 6(8), 131 p.. <http://dx.doi.org/10.1890/ES15-00121.1>, 2015.

PHILLIPS, C. B. et al. Effect of flood hydrograph duration, magnitude, and shape on bed load transport dynamics. **Geophysical Research Letters**, Civil and Environmental

Engineering, Northwestern University, Evanston, IL, USA, v. 45, p. 8264–8271, <https://doi.org/10.1029/2018GL078976.29>, mai., 2018.

POST, C.J. et al. Monitoring spatial and temporal variation of dissolved oxygen and water temperature in the Savannah River using a sensor network. **Environmental Monitoring and Assessment**. Department of Forestry and Environmental Conservation, Clemson University, Clemson, SC, USA. v. 190, 272 p., doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6646-y>, 2018.

PRIMO, K. R. **Avaliação Ambiental De Trechos Urbanos De Córregos De Leito Concretado Após Intervenções One-Off Visando A Revitalização**. Tese – Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Engenharia – UNESP, 180 p., 2020.

RACHID, G.; EL FADEL, M. Comparative SWOT analysis of strategic environmental assessment systems in the Middle East and North Africa region. **Journal of Environmental Management**, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, American University of Beirut.. v. 125, p. 85-9315, Ago., <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.053>, 2013.

RESTORE. **Rivers by design: rethinking development and river restoration**. [S.l.: s.n.], (2013). Disponível em: <http://www.ecrr.org/Portals/27/Publications/Rivers%20by%20design.pdf> Acesso em: 16 de maio de 2018.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher. 332 p. Biblioteca (s): Embrapa Solos, 1999.

RIGOTTI, J.A.; POMPÊO, C.A. Assessment of urban stream condition: case study. **In: 12th International Conference on Urban Drainage. Anais**. Porto Alegre: ABRH/IWA, 2011.

RITZEL, B. **Gulf of Mexico's Hypoxic Dead Zone Policy Analysis and Recommendations**. (2014). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269470554_Gulf_of_Mexico's_Hypoxic_Death_Zone. Acesso em: 23 out. 2019.

ROSGEN, D. L. A geomorphological approach to restoration of incised rivers. **Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision**. 11 p. 1997.

SARKER, S.K. et al. Quantifying effects of increased hydroperiod on wetland nutrient concentrations during early phases of freshwater restoration of the Florida Everglades. **Restoration Ecology**. Institute of Environment & Department of Biological Sciences, Florida International University, Miami, Florida, USA, 47 p. Accepted Author Manuscript. doi:10.1111/rec.13231, 2020.

SEMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Sorocaba. **Nascente municipal modelo de Sorocaba**. Disponível em: goo.gl/G8ApX1 Acesso em: 19 de junho de 2020.

SILVA, A.M., et al. Hydrosedimentological disequilibrium in a small, urbanized watershed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Sorocaba, São Paulo, Brasil. v.25, n.2, p.140-149, <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2013000200005>, 2013.

SILVA, A. M.; CAPELO, B.; BASSI, G. ; SILVA, R. A.; PRIMO, K. R. 2020. **Sistema indutor e direcionador de recuperação ecológica de córregos com leito concretado**. 2018, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR10201801514. Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 25/07/2018.

SILVA, R. A. et al. Technical assessment and decision making for the environmental recovery of waterways and their banks: a science-based protocol. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Sorocaba, São Paulo, Brasil ,v.16, p.2083-2090, <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-1873-x>, 2019.

SILVA, B. G. **Uso de chave de tomada de decisão para recuperação de sistemas aquáticos continentais e mapeamento da cobertura da terra de áreas de captação no município de Sorocaba (SP)**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental - UNESP, 30 p. 2019.

SILVA, P.; PIRES, M. **Renaturalização de rios, em áreas de trechos, urbanos com a aplicação de técnicas de bioengenharia em obras de engenharia hidráulica**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.

SILVEIRA, F.M. et al. Variation of the occupied area by riparian zone according to considered width. **Caminhos de Geografia**, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, v.10 n.30, p.111-119, <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>, 2009.

SIQUEIRA, R. M. B.; HENRY-SILVA, G. G. **A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais**. Boletim da Associação Brasileira de Limnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido – Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água, v. 39, n.2, 2011.

SMITH, W. S., SILVA, F. L., BIAGIONI, R. C. River dredging: when the public power ignores the causes, biodiversity and science. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, Brasil, v. 22. São Paulo, SP, <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0057r1vu19l1ao>, 2019.

TANAKA, M. O. et al. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 216 p. 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.016>, 2016.

TAVARES, L. P. D. S. et al. Water management and urban flood mitigation: studies and proposals for the Macaé river basin in Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, Instituto Federal Fluminense, v.12, n.2, p. 188-200, doi:<http://dx.doi.org/10.4090/juee.2018.v12n2.188200>, 2018.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 576 p. 2010.

TREPEL, M. Towards ecohydrological nutrient management for river basin districts. **Ecohydrology & Hydrobiology**, Ministry of Energy, Agriculture, The Environment and Rural Areas Schleswig-Holstein, Department for Water Management, Kiel, Germany v.16, n. 2, p. 92-98, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.03.001>, mai., 2016.

TROMBONI, F.; DODDS, W. Relationships Between Land Use and Stream Nutrient Concentrations in a Highly Urbanized Tropical Region of Brazil: Thresholds and Riparian Zones. **Environmental Management**, Departamento de Ecologia, IBRAG,

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ,v.60, p.30–40 (2017).
<https://doi.org/10.1007/s00267-017-0858-8>

VÁSQUEZ, W. F.; DE REZENDE, C. E. Willingness to pay for the restoration of the Paraíba do Sul River: A contingent valuation study from Brazil. **Ecohydrology & Hydrobiology**, Fairfield University, Department of Economics, , Fairfield, , United States,v.19 n.4, p. 610-619, <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.01.001>, 2019.

VIETZ, G. J.; WALSH, C. J.; FLETCHER, T. D. Urban hydrogeomorphology and the urban stream syndrome: Treating the symptoms and causes of geomorphic change. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, University of Melbourne, Australia, v. 40, n.3, pp. 480–492. Doi: <https://doi.org/10.1177/0309133315605048>. 2016.

WALKER, L. R.; WALKER, J.; HOBBS, R. J. Linking Restoration and Ecological Succession. **New York: Springer Science+Business Media**, LLC, 187 p. 2007.

WANTZEN, K. M. **Urban River Restoration in the Global South –problem analysis and suggestions by the UNESCO Chair for River Culture / Fleuves et Patrimoine**. UNESCO Chair River Culture – Fleuves et Patrimoine, CNRS UMR 7324 CITERES, University of Tours, France, 2018.

WANTZEN, K. M. et al. Urban Stream and Wetland Restoration in the Global South—A DPSIR Analysis. **Sustainability** **2019**, v. 11,n.18), 4975 p., doi: <https://doi.org/10.3390/su11184975>, 2019.

WEYAND, M.; RULLICH, L. River rehabilitation in urban areas – restrictions, possibilities and positive results. **Water Supply** 1 May 2019, v.19 n.3, p. 944-952, doi: <https://doi.org/10.2166/ws>, 145 p, 2018.

WINKING, C; LORENZ, A.; HERING, D. Restoration of a river system in an urban area: towards the good ecological potential of former sewage channels. **REFORM International**, 2015.

WOOLSEY, S. et al. A strategy to assess river restoration success. **Eawag Aquatic Research, Journal compilation. Freshwater Biology**, Swiss Federal Institute of

Aquatic Science and Technology, Kastanienbaum, Switzerland v. 52, p. 752-769, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01740.x>, 2007.

YIN, X. L. et al. **Research progress on urban river landscapes and equilibrium profile.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 191, The 4th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2018), p. 17–21, Kaohsiung City, Taiwan, Jul, 2018.

ZHANG, R.; KANEMARU, K.; NAKAZAWA, T. Purification of river water quality using precast porous concrete products. **Journal of advanced concrete technology.** Tokyo, Japan, v.13, p. 163-168, mar. <https://doi.org/10.3151/jact.13.163>, 2015.

ZINGRAFF-HAMED, A. **Urban River Restoration: a socio-ecological approach.** Tese- Doktors der Naturwissenschaften. Technische Universität München und Université De Tours. 301 p., 2017.

ZINGRAFF-HAMED, A.; GREULICH, S.; WANTZEN, K. M.; PAULEIT, S. Societal Drivers of European Water Governance: A Comparison of Urban River Restoration Practices in France and Germany. **Water, Strategic Landscape Planning and Management,** Center of Life and Food Sciences Weihenstephan, Technische Universität München, Freising, Germany v.9, n. 206, doi:10.3390/w9030206, 2017.

Anexo I

Data da coleta: ____/____/ 2017

Rio 1

Profundidades (cm):

Tempo de deslocamento da pluma (segundos)							Média:
---	--	--	--	--	--	--	--------

Rio 2

Profundidades (cm):

Tempo de deslocamento da pluma (segundos)							Média:
---	--	--	--	--	--	--	--------

Rio 3

Profundidades (cm):

Tempo de deslocamento da pluma (segundos)							Média:
---	--	--	--	--	--	--	--------

Parâmetros ↓	Rio 1			Rio 2			Rio 3		
Temperatura do ar (°C)									
Pontos =>	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura da água (°C)									
Resíduo Total (mg / 100 ML)									
Condutividade elétrica (µS / cm)									
Salinidade (ppm)									
TSD (mg /L)									
pH (adimensional)									
Sólidos sedimentáveis (mL /L)									
Oxigênio dissolvido (mg/L)									
Turbidez (NTU)									

Anexo II: Datas e horários das coletas. (* coleta apenas no primeiro córrego devido a fortes chuvas)

Data coleta	Horário
16/04/2016	9:05/9:53/10:47
30/04/2016	8:40/10:07/10:50
14/05/2016	8:38/9:21/9:58
26/05/2016	8:30/9:12/9:43
11/06/2016	8:30/9:11/9:41
25/06/2016	8:45/9:27/9:57
09/07/2016	8:30/9:15/9:42
23/07/2016	8:40/9:31/9:56
06/08/2016	8:30/9:20/9:47
20/08/2016 *	8:39
03/09/2016	8:30/9:06/9:46
17/09/2016	8:26/9:08/9:41
01/10/2016	9:04/9:50/10:40
15/10/2016	8:29/9:27/10:08
29/10/2016	8:39/9:26/10:05
11/11/2016	8:36/9:13/9:41
26/11/2016	8:33/9:16/9:47
17/12/2016	8:51/9:34/10:06
20/12/2016	8:43/9:27/9:59

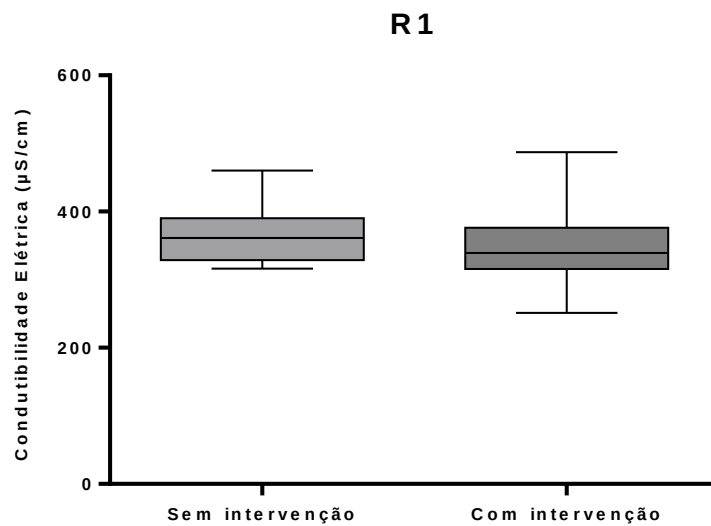
14/01/2017	8:33/9:29/9:59
28/01/2017	13:06/13:40/14:09
11/02/2017	8:28/9:08/9:36
27/02/2017	8:43/9:00/9:34
11/03/2017	8:59/9:39/10:04
25/03/2017	8:20/9:11/9:52
08/04/2017	8:30/9:04/9:28
29/04/2017	8:46/9:45/10:30
07/05/2017	8:38/9:23/10:05
27/05/2017	7:28/8:02/8:24
10/06/2017	7:57/8:37/9:03
25/06/2017	8:26/9:14/9:50
02/07/2017	8:10/8:41/9:05
29/07/2017	8:04/8:43/9:15
12/08/2017	7:56/8:35/9:09
26/08/2017	8:19/9:19/10:01
16/09/2017	7:43/8:22/8:49
30/09/2017	8:09/8:39/9:08
21/10/2017	8:09/8:40/9:04
28/10/2017	8:11/9:27/9:58
11/11/2017	7:32/8:01/8:25

25/11/2017	7:57/8:25/8:55
02/12/2017	8:00/8:24/8:52
09/12/2017	7:39/8:34/9:02
20/01/2018	8:09/8:40/9:06
27/01/2018	8:13/8:40/9:02
24/02/2018	8:13/9:08/10:05

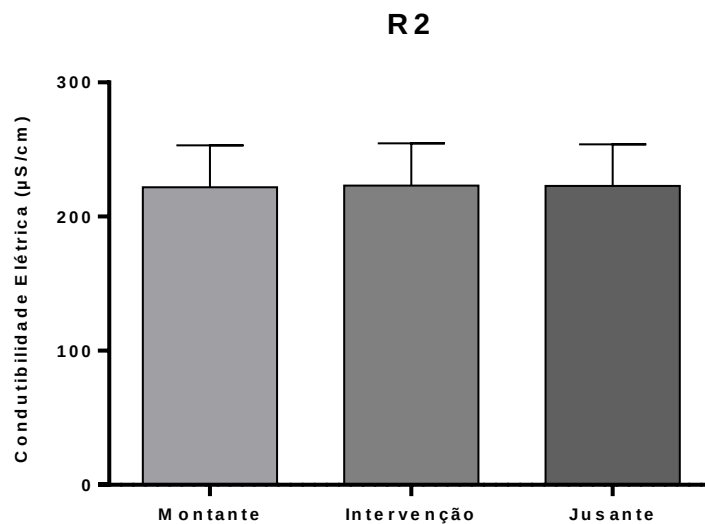
Anexo III: Análises estatísticas em que não houve diferenças significativas

Condutividade Elétrica

Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1):
 $p=0,1730$

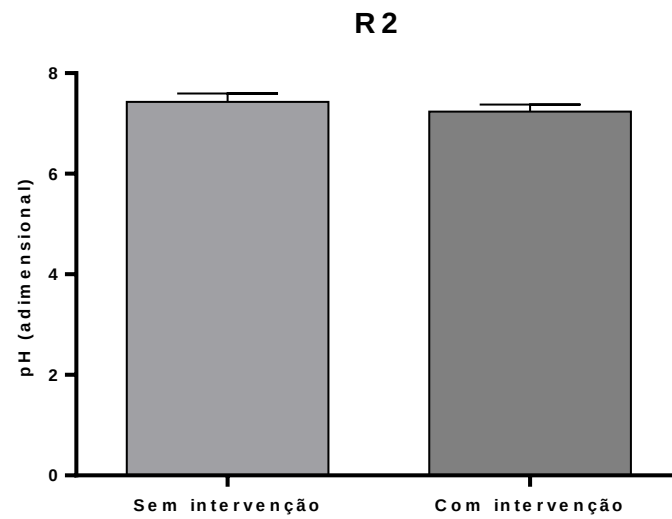


Teste t de student: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R2): $p=0,2799$



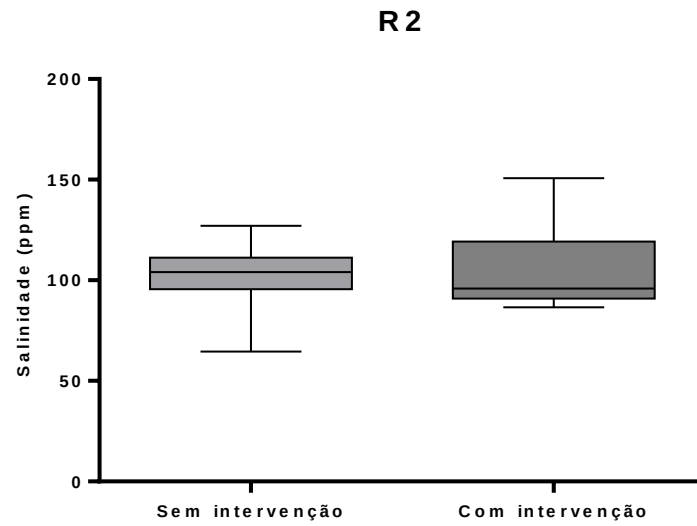
pH

Teste t de student: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R2): $p=0,0806$

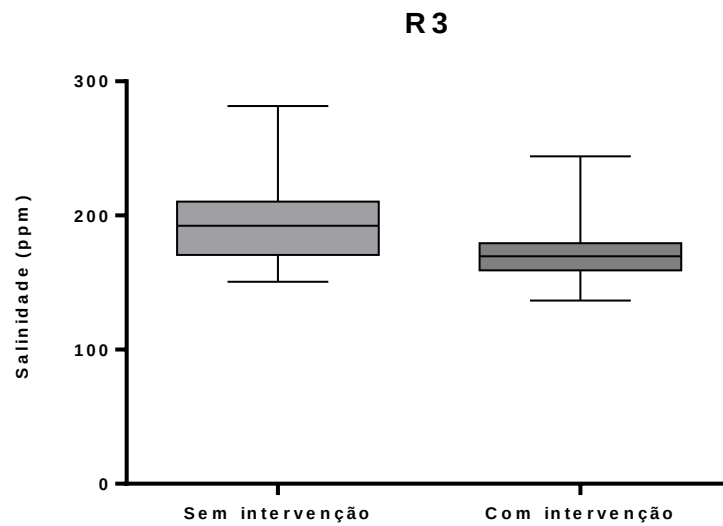


Salinidade

Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R2):
 $p=0,4554$

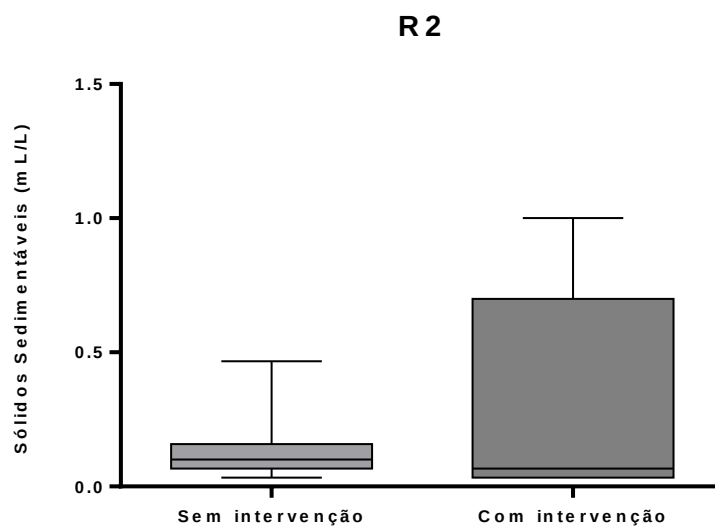


Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3):
 $p=0,0135$

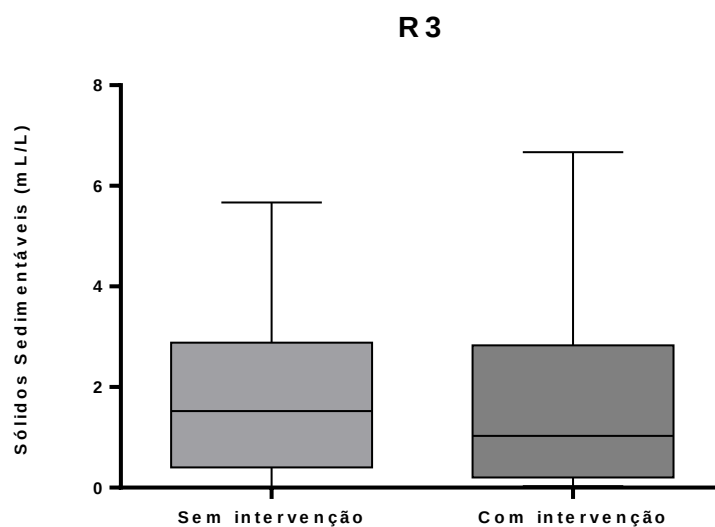


Sólidos sedimentáveis

Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R2):
 $p=0,8994$

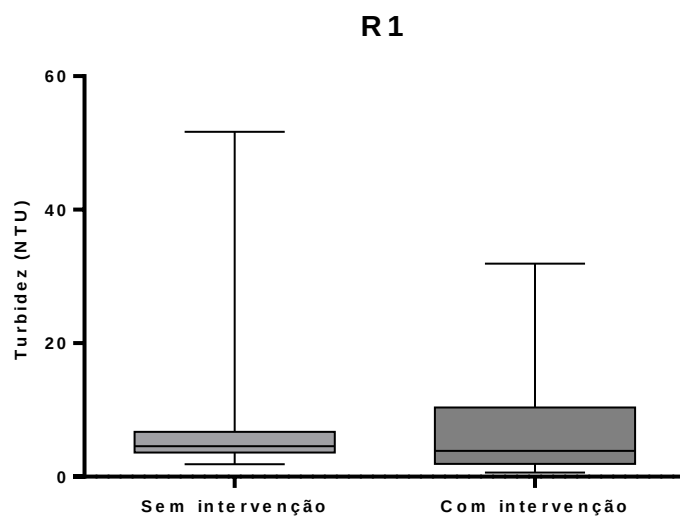


Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R3):
 $p=0,6685$



Turbidez

Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R1):
 $p=0,4045$



Teste de Mann-Whitney: Antes da Intervenção e Depois da Intervenção (R2):
 $p=0,7907$

