

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DO ARROIO DILÚVIO E
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO POR PLANTAS
ESPONTÂNEAS DO SISTEMA PARA A CARGA DE ELEMENTOS
POTENCIALMENTE TÓXICOS**

**Vinícius Maggioni dos Santos
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DO ARROIO DILÚVIO E
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO POR PLANTAS
ESPONTÂNEAS DO SISTEMA PARA A CARGA DE ELEMENTOS
POTENCIALMENTE TÓXICOS**

VINÍCIUS MAGGIONI DOS SANTOS
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um
dos requisitos à obtenção do Grau
de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Abril de 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Santos, Vinícius Maggioni dos
Caracterização dos sedimentos do arroio Dilúvio e
avaliação do potencial de fitorremediação por plantas
espontâneas do sistema para a carga de elementos
potencialmente tóxicos / Vinícius Maggioni dos Santos.
--2019.
79f.
Orientador: Flávio Anástacio de Oliveira Camargo.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Arroio Dilúvio. 2. Sedimentos. 3. Metais
Pesados. 4. Fitorremediação. 5. Poluição Urbana.I.
Camargo, Flávio Anástacio deOliveira, orient. II.
Título.

VINÍCIUS MAGGIONI DOS SANTOS
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos para
obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do
Solo

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: ____/____/____
Pela Banca Examinadora

Homologado em: ____/____/____
Por

FLÁVIO A. DE OLIVEIRA
CAMARGO
Orientador/Departamento
Solos/UFRGS

CARLOS GUSTAVO TORNQUIST
Coordenador do Programa de
Pós-graduação em Ciência do Solo

Carlos Gustavo Tornquist
Departamento de Solos/UFRGS

Luis Alberto Basso
Departamento de Geografia/UFRGS

Maria Lucia Kolowski Rodrigues
Doutora em Geociências (UFRGS)

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

“Ninguém pode entrar duas vezes no mesmo rio, pois quando nele se entra novamente, não se encontram as mesmas águas, e o próprio ser já se modificou”

(Heráclito, 500 a.C.)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao CNPq pela concessão da bolsa e dos recursos que permitiram meu desenvolvimento acadêmico, e à sociedade brasileira pagadora de impostos que subsidiam programas como este.

Ao meu orientador e professor, Flávio Anastácio de Oliveira Camargo, pela confiança e pelos conhecimentos transmitidos durante essa jornada.

À minha esposa Renata Barreto Tenório por me acompanhar em todos os momentos enfrentados nessa jornada, e me ajudar quando necessitava de mais uma cabeça pensante ou apenas de um bom papo para relaxar.

A toda equipe do Laboratório de Solos (UFRGS), principalmente às técnicas Taís, Bebeca e Paula, pelo auxílio nas análises desenvolvidas e por fazerem o ambiente de trabalho mais alegre.

Ao professor Tales Tiecher pela coorientação e ideias sugeridas para os estudos realizados em minha pesquisa.

Aos meus colegas de laboratório e trajetória no tempo de mestrado, especialmente: Naihana Schaeffere Leonardo Capeleto de Andrade os quais foram muito importantes para o desenvolvimento dos meus estudos, fazendo essa jornada menos árduo.

Aos meus familiares que me apoiaram e me incentivaram em todas as escolhas que fiz em minha vida.

Obrigado a todos!

CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DO ARROIO DILÚVIO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO POR PLANTAS ESPONTÂNEAS DO SISTEMA PARA A CARGA DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS¹

Autor: Vinícius Maggioni dos Santos

Orientador: Prof. Flávio Anastácio de Oliveira Camargo

RESUMO

O Arroio Dilúvio é um córrego urbano que percorre aproximadamente 15 km em áreas de grande concentração populacional do município Porto Alegre (RS). Esse córrego está fortemente presente na história do desenvolvimento dessa cidade. O arroio Dilúvio sofre com vários problemas, desde suas margens ocupadas por moradias inadequadas a partir de suas nascentes até seu leito, que recebe todas as formas de esgoto e resíduos sólidos produzidos pela construção civil e tráfego veicular. O objetivo deste estudo foi analisar a poluição por metais traços no arroio Dilúvio. Os estudos envolveram um levantamento sobre a história ambiental do arroio Dilúvio, análise físico-química dos sedimentos de fundo ao longo do percurso do arroio e avaliação do potencial de fitorremediação de plantas espontâneas identificadas nas barras de sedimentos formadas na parte canalizada do arroio. Os sedimentos foram coletados de forma composta em 15 pontos distribuídos nos seus 17,6 km em quem correm seu curso d'água. Os resultados mostraram que os sedimentos são arenosos, apresentando maiores teores de contaminantes nos pontos que apresentaram maior teor de partículas finas (< 0,62mm), com níveis crescentes de metais e P total das nascentes até a foz. Apresentou valores de COT e de N total que sugere origem antrópica dessas substâncias. As plantas utilizadas para análise de fitorremediação foram coletadas em quadruplicata em 5 pontos da parte canalizada do arroio Dilúvio. Com os valores de concentração de metais nas raízes e parte aérea das plantas foram calculados o Fator de Bioacumulação (FBC) e Fator de Translocação (TF). O TF mostrou que as plantas não apresentavam potencial para fitoextração para todos os metais analisados; no entanto, duas espécies expressaram potencial para rizofiltração por revelar alta concentração de metais em suas raízes. A poluição do arroio Dilúvio contribui para a poluição das águas do Lago Guaíba, fonte de captação de água para abastecimento de Porto Alegre. Sendo assim, justifica-se a busca pela recuperação de sua qualidade ambiental.

¹Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (78 p.) Abril, 2019.

CHARACTERIZATION OF THE SEDIMENTS OF ARROIO DILÚVIO AND EVALUATION OF THE POTENTIAL OF PHYTOREMEDIATION BY SPONTANEOUS PLANTS OF THE SYSTEM FOR A LOAD OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS¹

Author: Vinícius Maggioni dos Santos

Adviser: Prof. Flávio Anastácio de Oliveira Camargo

ABSTRACT

The Stream Dilúvio is an urban stream that travels approximately 15 km in areas of great population concentration of the municipality Porto Alegre (RS). This stream is strongly present in the history of the development of this city. The Stream Dilúvio suffers from several problems, from its banks occupied by inadequate housing from its sources to its bed that receives all forms of sewage and sediments produced by the construction industry. The objective of this study was to analyze the pollution by potentially toxic metals in the Dilúvio stream. The studies involved a survey on the environmental history of the Dilúvio stream, physical-chemical analysis of the bottom sediments along the course of the stream and the phytoremediation potential of the spontaneous plants identified in the sediment bars formed in the channel part of the stream. Sediments samples were collected in 15 points distributed along the water course. The results showed that the sediments are predominantly sandy, with higher levels of contaminants at points with finer particles (<0.62mm), with increasing levels of metals and total P along the Arroio Dilúvio. It presented expressive values of TOC and total N, suggesting anthropic origin of these substances. The plants used for phytoremediation analysis were collected in quadruplicate at 5 points of the channel portion of the Dilúvio stream. The bioaccumulation factor (FBC) and translocation factor (TF) were calculated with the values of metal concentration in the roots and aerial part of the plants. TF showed that the plants had no potential for phytoextraction for all the analyzed metals; however, two species expressed potential for ripening due to the high concentration of metals in their roots. The pollution of the Stream Dilúvio is tributary to the contamination of the waters of the Lake Guaíba, source of abstraction of water for supply of Porto Alegre. Therefore, this justifies the search for the recovery of its environmental quality.

¹Master's Dissertation in Soil Science – Soil Science Graduate Program. Agronomy Faculty. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (78 p.) April, 2019.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - A HISTÓRIA AMBIENTAL DO ARROIO DILÚVIO	3
1. Introdução.....	3
2. O Arroio Dilúvio.....	4
2.1 Geografia da Sub-bacia	6
2.2 Alterações históricas	8
3. Impactos sócio ambientais na bacia do arroio Dilúvio	12
3.1 Crescimento populacional e alterações no uso da água e do solo	12
3.2 Origens da poluição no Arroio Dilúvio	15
3.3 Medidas de compensação dos impactos	18
4.Considerações Finais	20
CAPÍTULO 3- ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E POLUIÇÃO DOS SEDIMENTOS AO LONGO DO PERCURSO DO ARROIO DILÚVIO, SUL DO BRASIL.....	21
1. Introdução.....	21
2. Materiais e métodos.....	23
2.1 Área de estudo.....	23
2.2 Preparação das Amostras.....	24
3. Resultados	28
4. Discussão	31
4.1 Granulometria	31
4.2 Carbono, nitrogênio e fósforo.....	34
4.3 Metais potencialmente tóxicos.....	36
5. Conclusão.....	40
CAPÍTULO 4 - Potencial de fitoextração de metais potencialmente tóxicos por plantas espontâneas nas barras de sedimentos da parte canalizada do arroio Dilúvio, Porto Alegre – Sul do Brasil.....	41
1. Introdução.....	41
2. Materiais e Métodos.....	43
2.1Área de estudo.....	43
2.2 Coleta, preparo e análise das amostras	43

3. Resultados	46
4. Discussão	49
4.1 Concentrações de metais nos sedimentos	49
4.2 Potencial de fitorremediação das plantas	50
5. Conclusão	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS	56

RELAÇÃO DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 - Revisão bibliográfica - A história ambiental do arroio Dilúvio.

- Figura 2.1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, RS, Brasil.....5
- Figura 2.2: Mapa histórico da sede da Faculdade de Agronomia e Veterinária, limitada pela Estrada do Mato Grosso (atual Av. Bento Gonçalves), mostrando o desvio no percurso do Arroio Sabão (atual Dilúvio) dentro da Faculdade de Agronomia - UFRGS. Fonte: RELATÓRIO, 1914.9
- Figura 2.3: Arroio Dilúvio antes e depois das obras de canalização. Fonte: Burin, 2008..... 10
- Figura 2.4: A - Secção transversal projetada para a canalização e construção da Av. Ipiranga. Fonte: SILVA (1943). B - Ponte do cruzamento entre as avenidas Ipiranga e Prof. Cristiano Fischer. Lixo acumulado nos pilares da ponte (fev. 2018)..... 11
- Figura 2.5: Crescimento populacional de Porto Alegre de acordo com dados do IBGE 2011. Fonte: (CABETTE; STROHAECKER, 2014). 13
- Figura 2.6: Crianças banhando-se nas águas do Arroio Dilúvio em 1951, próximo à atual Av. Prof. Cristiano Fischer. Fonte: Arquivo histórico de Porto Alegre. 14
- Figura 2.7: Imagens do Satélite Landsat da Represa Lomba do Sabão nos anos de 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2017. Fonte: Google Earth, 2018. 16

CAPÍTULO 3- ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E POLUIÇÃO DOS SEDIMENTOS AO LONGO DO PERCURSO DO ARROIO DILÚVIO, SUL DO BRASIL

- Figura 3.1: (A) Mapa do Brasil com as unidades federativas; (B) Região metropolitana de Porto Alegre, destacando a área de estudo; (C) Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio sobre a imagem obtida no Google Earth.24
- Figura 3.2: Pontos de coleta de amostras e parte canalizada em seu curso principal, Bacia Arroio Dilúvio, Porto Alegre – RS.....25

Figura 3.3: Procedimento de coleta das amostras de sedimentos com auxílio de uma draga modelos <i>Eckman</i> (2017).	26
Figura 3.4: Relação entre a porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico nos pontos analisados, arroio Dilúvio, Porto Alegre - RS.	36
Figura 3.5: Concentração de Zn, Cu, Pb, Cr e Ni padronizados pelo teor de Al e concentração de Carbono Orgânico Total (COT) ao longo do percurso do Arroio Dilúvio.	37
Figura 3.6: Concentração de Zn nos pontos analisados do Arroio Dilúvio.	38
Figura 3.7: Concentrações de Zn, Cr, Cu e Pb padronizados por Al nos pontos amostrais ao longo de todo percurso do Arroio Dilúvio, Sul do Brasil.	39
 CAPÍTULO 4 - Potencial de fitoextração de metais potencialmente tóxicos por plantas espontâneas nas barras de sedimentos da parte canalizada do arroio Dilúvio, Porto Alegre – Sul do Brasil	
Figura 4.1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio e pontos de coleta das amostras.	43
Figura 4.2: Coletas das amostras de sedimentos e plantas espontâneas nas barras de sedimentos formadas na parte canalizada do arroio Dilúvio.	44
Figura 4.3: Teores de metais pesados nos sedimentos analisados das barras de sedimentos formados na canalização do arroio Dilúvio.	50

RELAÇÃO DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - Revisão bibliográfica - A história ambiental do arroio Dilúvio.

Tabela 2.1: Volume de sedimentos dragados na parte canalizada do Arroio Dilúvio. 19

CAPÍTULO 3- ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E POLUIÇÃO DOS SEDIMENTOS AO LONGO DO PERCURSO DO ARROIO DILÚVIO, SUL DO BRASIL

Tabela 3.1: Pontos de coleta de sedimentos de fundo do Arroio Dilúvio, Porto Alegre - RS. 27

Tabela 3.2: Análise granulométrica nas amostras de sedimentos dos pontos coletados no Arroio Dilúvio 29

Tabela 3.3: Valores de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio (N), Fósforo Total (PT), Fósforo Orgânico (PO) e Fósforo Inorgânico (PI) e a relação C/N das amostras de cada ponto coletado 30

Tabela 3.4: Concentrações de metais nas amostras ao longo do percurso do Arroio Dilúvio, Porto Alegre - Sul do Brasil. 33

CAPÍTULO 4 - Potencial de fitoextração de metais potencialmente tóxicos por plantas espontâneas nas barras de sedimentos da parte canalizada do arroio Dilúvio, Porto Alegre – Sul do Brasil

Tabela 4.1: Pontos de coleta dos sedimentos e plantas nas barras de sedimentos da parte canalizada do Arroio Dilúvio, Porto Alegre – RS. 45

Tabela 4.2: Concentrações de metais pesados nas barras de sedimentos analisadas do Arroio Dilúvio 47

Tabela 4.3: Concentração de metais pesados na parte aérea das plantas e em suas raízes..... 48

Tabela 4.4: Fator de Acumulação e Translocação de metais pesados nas plantas coletadas nas barras de sedimento do Arroio Dilúvio. 49

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

As primeiras civilizações emergiram às margens de grandes cursos hídricos devido à grande dependência desse recurso natural para a produção de alimentos, consumo direto e outros fins. Como as águas foram as primeiras vias de transporte da humanidade, os grandes centros urbanos foram estabelecidos próximos às costas de oceanos e de grandes rios; muitos sofreram com os impactos resultantes da falta de saneamento em áreas onde se estabeleciam cidades.

A poluição dos rios é um dos principais problemas ambientais no mundo, sendo diversas as fontes de poluentes: indústrias, atividade agrícola, tráfego veicular, esgoto. A urbanização pode causar modificações no relevo das bacias hidrográficas, levar à impermeabilização da superfície do solo e agravar a poluição fluvial com aumento do escoamento superficial das águas pluviais transportando todo tipo de lixo e particulados para os seus cursos. A soma destes fatores agrava os potenciais riscos à saúde da população e, em última instância, reduz a produtividade laboral da população mais atingida, impactando negativamente a economia.

Os sedimentos gerados pela expansão urbana e falta de limpeza das vias públicas afetam o sistema de macrodrenagem e assoreiam os canais, o que leva a inundações quando há chuvas volumosas. Vale ressaltar que há poluentes potencialmente tóxicos que se ligam às partículas de sedimentos, por meio dos quais podem ser transportados para os mais diversos pontos do rio. Ou seja, o fato de nos sedimentos serem adsorvidas substâncias tóxicas permite às mesmas o extravasamento para pontos do ecossistema que não alcançariam de outro modo.

O arroio Dilúvio tem grande importância na história de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul (RS): seu curso principal corta a cidade no

sentido leste a oeste na região mais central da cidade; sua foz se encontra com o Lago Guaíba, atual fonte de abastecimento hídrico da capital. Muitas modificações, como a canalização e retificação do seu terço final, ocorreram em seu curso para que se desse o desenvolvimento da cidade. Ao longo das décadas, o arroio vem sofrendo os impactos ocasionados pela urbanização. Este - que um dia foi ponto de captação de água para a população, local de pesca e navegação - é hoje destino de esgoto não tratado e de poluição proveniente dos veículos que transitam pela avenida que o margeia - a Avenida Ipiranga - uma das mais movimentadas da capital; a poluição é perceptível a quem transita em seu entorno.

Dentre os principais poluentes do arroio Dilúvio estão os metais potencialmente tóxicos, que são adsorvidos aos sedimentos e podem ser transportados para o Lago Guaíba. O objetivo dessa pesquisa foi estudar a poluição por metais pesados nos sedimentos do Arroio Dilúvio. Especificamente foram estudados: 1) Histórico ambiental do arroio Dilúvio; 2) Análise da poluição nos sedimentos ao longo do percurso do arroio Dilúvio; 3) Análise do potencial de fitorremediação das plantas espontâneas identificadas nas barras de sedimentos formadas no curso canalizado do arroio Dilúvio.

CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - A HISTÓRIA AMBIENTAL DO ARROIO DILÚVIO

1. Introdução

Os corpos hídricos estão conectados a todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial, e aos valores culturais e religiosos enraizados na sociedade. A água é um recurso natural essencial para toda a vida do planeta, seja para sobrevivência direta de espécies vegetais e animais, seja como insumo na produção de bens.

O crescimento populacional desordenado e sem planejamento prévio dos centros urbanos leva a uma ocupação territorial em locais não apropriados para moradias, principalmente nos países em desenvolvimento (FERNANDES; VIERA, 2008). Muitas áreas sofrem grandes impactos ambientais, principalmente às margens dos cursos de água, para onde o esgoto não tratado e todos os tipos de lixo acabam sendo destinados, tornando-se locais de risco ambiental e à saúde pública.

Nas últimas décadas, a qualidade da água vem sendo alterada devido a diversas atividades do homem, o que é agravado pela falta de educação ambiental e de saneamento básico. No contexto urbano brasileiro, esse problema é notável nas capitais (como São Paulo e Rio de Janeiro), que tiveram seus rios canalizados e transformados em canais de drenagem, percebidos por muitos como esgoto a céu aberto. Essa negligência com os recursos hídricos não é exclusividade das grandes cidades: estudos realizados em várias bacias hidrográficas urbanas mostram que este problema é presente em municípios brasileiros pequenos - ArroioPoraima, na cidade de Mata - RS (aproximadamente 5.500 hab.), em municípios médios - Bacia do Rio Ribeirão Vermelho, na cidade de Lavras - MG (93.000 hab.), e em grandes cidades -

Lago Guaíba, na cidade de Porto Alegre - RS que possui uma população metropolitana com mais de 4 milhões de habitantes (ANDRADE et al., 2018; FERNANDES; VIERA, 2008; FIA et al., 2015)

A falta de planejamento de uso e de ocupação das terras no meio urbano em países em desenvolvimento fez com que o serviço de saneamento básico não acompanhasse esse crescimento. No Brasil, a falta de saneamento básico acarreta problemas críticos: ameaça à saúde pública com a proliferação de doenças e com a má qualidade da água; reduz a produtividade do trabalhador, sendo responsável por 11% das faltas ao trabalho; aumenta o risco de enchentes, que transportam contaminantes das superfícies urbanas para os recursos hídricos. Apesar de afetar a todos, vale ressaltar que geralmente os mais afetados são os menos favorecidos economicamente; habitações em áreas irregulares, por exemplo, são excluídas do planejamento urbano, e, por conseguinte, não recebem serviços mínimos de saneamento básico (EOS, 2019).

Porto Alegre sofre com a poluição de um dos seus principais rios, o arroio Dilúvio, que corta a cidade de leste a oeste; em seu trajeto, recebe efluentes líquidos de diversas procedências. O arroio Dilúvio percorre por aproximadamente 15 km em áreas de grande concentração populacional de Porto Alegre (RS) e tem sua foz no Lago Guaíba.

2. O Arroio Dilúvio

O arroio Dilúvio recebe esse nome devido às periódicas cheias (sinônimo de dilúvio) ocorridas na história. Inicialmente se chamava Rio Jacarey (rio de jacarés); depois, seu nome fragmentou-se: chamava-se Arroio do Sabão na extensão que ia de suas nascentes até a antiga Avenida Mato Grosso (atual Av. Bento Gonçalves); Arroio da Azenha até o encontro seu afluente Arroio Cascata; e o restante do trajeto era chamado “Riacho” devido às curvas sinuosas até sua foz com o Lago Guaíba (MACIEL, 1914; MORANDI; FARIA, 2000).

O arroio Dilúvio é um afluente da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba; tem uma sub-bacia de 83.740 ha e percorre 17.605 m, dos quais aproximadamente 12 km são atualmente canalizados, apresenta uma vazão em período de seca próximo a $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e podendo passar dos $17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em

eventos pluviais de grande intensidade (BASSO; MOREIRA; PIZZATO, 2011a; OLIVEIRA; MEDEIROS, 2012; RUALDO MENEGAT, 2006). Suas nascentes mais distantes estão localizadas no Parque Saint-Hilaire nos limites da cidade de Viamão com Porto Alegre (Figura 2.1). As águas das nascentes se acumulam na Barragem Lomba do Sabão - criada com a finalidade de captar água para o abastecimento de Porto Alegre – e seguem por regiões de menor densidade populacional até chegar na Avenida Ipiranga, onde são canalizadas e atingem a foz com o Guaíba (principal manancial hídrico da região metropolitana).

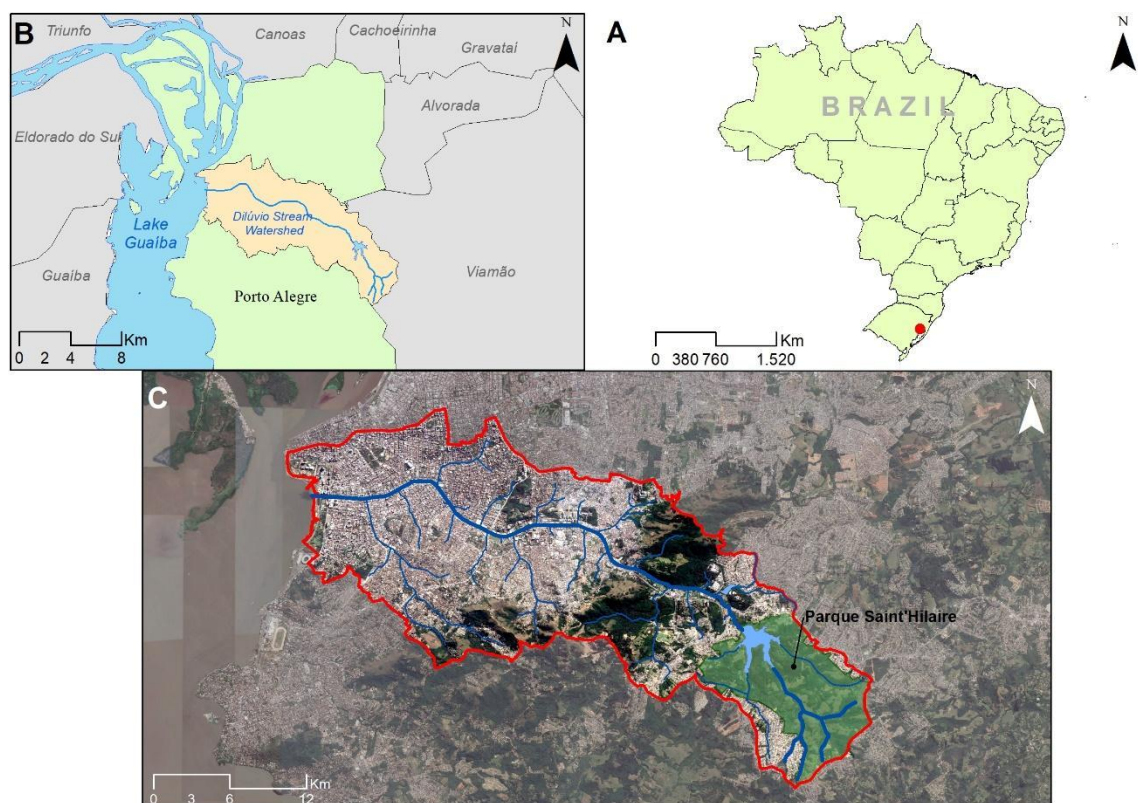


Figura 0.1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, RS, Brasil.

O Parque Natural Municipal Saint'Hilaire é uma Unidade de Conservação da Natureza - UC, com 1.148 hectares de área total, localizado entre os municípios de Viamão e Porto Alegre. O parque leva a denominação de UC desde 2003, mas seu manejo iniciou em 1898 quando a antiga Companhia Hidráulica Porto Alegrense captava água da Barragem Lomba do Sabão para abastecimento da população. Na década de 1940, ao oeste das

áreas do Parque, foi construída a barragem da Lomba do Sabão, um reservatório para a captação de água com 75 ha de lâmina d'água. A água captada e tratada era bombeada por aproximadamente 11 km até a Companhia Hidráulica Moinhos de Vento de onde era distribuída para uma grande parte da população de Porto Alegre. Percebendo a importância hídrica da região do Parque Saint'Hilaire, a Prefeitura de Porto Alegre adquiriu a área que antes pertencia a Viamão. A aquisição ocorreu em 1944, e a finalidade foi a proteção da qualidade ambiental da bacia hidrográfica e suas águas; passou a ser chamado Jardim Botânico Municipal Parque Saint'Hilaire (PORTO ALEGRE, 2019b; PORTO ALEGRE, 2019c). A partir de 1977, o local passou a ser administrado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Porto Alegre; foi renomeado como "Parque Saint'Hilaire" e foi separado em duas áreas: uma de Preservação Permanente com 950 ha e outra de 230 ha destinada à recreação pública.

2.1 Geografia da Sub-bacia

A bacia do Arroio Dilúvio possui um relevo demarcado ao sul por dois terrenos declivosos: o morro Santana (290m de altitude) - com formação florestal estacional semidecidual, típica do bioma Mata Atlântica – e o morro da Polícia (115m de altitude) - com vegetação de campos naturais. Após percorrer 5 km a partir de suas nascentes, o relevo forma as planícies fluviais do arroio com altitudes que variam de 4 a 10 m e até 500 m de largura, mantendo-se assim até sua foz. Ao Norte, os divisores da bacia são demarcados pelo topo dos morros da Crista e da Matriz (MENEGAT, 2006). Neste segmento final, a planície apresentava – antes da canalização - aproximadamente 2,5 km de largura e era periodicamente inundada nas cheias (MORANDI; FARIA, 2000).

O percurso natural de seu talvegue pode ser dividido em três seções distintas, cada qual com suas peculiaridades: 1º) das nascentes nos morros de Viamão até o estreitamento na sua passagem pelo bairro Agronomia - fase erosiva e de transporte intenso de sedimentos; 2º) do bairro Agronomia ao estreitamento da coxilha sul do Jardim Botânico (próximo à via arterial 3º perimetral) - trecho de alargamento de seu leito e grande deposição de areia; e 3º) do Jardim Botânico até sua foz - fase de deposição caótica dos sedimentos (JUVÊNCIO, 1958).

Áreas de planícies próximas a cursos de água estão sempre associadas a períodos de inundações e afloramento do lençol freático. Quando estas planícies estão no ambiente urbano, sofrem intervenções antrópicas como implantação de aterros, canalização e retificação do canal (FUJIMOTO, 2004). O Arroio Dilúvio tem sua planície totalmente alterada pelo processo de ocupação: seu nível natural de inundação foi elevado e seu fluxo hídrico modificado pela canalização para drenagem das águas acumuladas.

A bacia do Arroio Dilúvio possui um solo arenoso com característica de material pedregoso; predomina a rocha granítica rósea com intrusões quartzíferas. No início do século XX, muitas pedreiras se instalaram nessa região por ser o granito róseo o mais usado na construção de calçamentos urbanos. Essa matriz rochosa dá origem a solos argilo-arenosos e areno-argilosos em áreas que sofreram o processo de pediplanação, após a qual foram explorados pela horticultura e pelas boas pastagens no início do século XX. A região que se estende da Faculdade de Agronomia (UFRGS) até o Hospital Psiquiátrico São Pedro é completamente arenosa; há uma estreita faixa beirando o arroio que possui um horizonte com um forte gradiente textural de 1,5 m logo abaixo de um horizonte adensado devido à argiluviação (JUVÊNCIO, 1958; MEDEIROS, 2014).

O terço final da bacia era coberto por uma vegetação de banhado que se estendia do atual bairro Menino Deus até o parque Farroupilha. A foz do arroio, na enseada da Praia de Belas, era composta por bancos de areia que se formavam nas margens por conta da variação de nível do Lago Guaíba e pela ação do vento. Estes bancos eram constantemente remodelados tanto pelo fluxo natural do arroio como pelas inundações (MENEGAT, 2006). Essas deposições e intervenções humanas para reduzir os problemas causados pelas enchentes deram origem a locais com ocupações irregulares (a Ilhota e o Areal da Baronesa) que ficavam isolados nas épocas de cheia, com graves problemas sanitários para os moradores da região - em sua maioria descendentes de ex-escravos e pessoas vindas do meio rural (BURIN, 2008; DEVOS; SOARES, 2010).

2.2 Alterações históricas

O Arroio Dilúvio é um sistema aquático natural com vasta riqueza de biota como, peixes, anfíbios, organismos bentônicos, tartarugas (com variedades exóticas) e muitas aves que se alimentam dessas populações. A urbanização impôs outros fins ao Arroio: atualmente ele é o principal canal de macrodrenagem pluvial da região mais adensada de Porto Alegre e é um receptor de esgotos não tratados (MORANDI; FARIA, 2000; TUCCI, 2008).

Antigamente, havia as nascentes do arroio Dilúvio - o Dilúvio maior e o Dilúvio menor - que se uniam pouco depois, abaixo do Bairro Herdeiros; hoje, a região é formada pela represa da lomba do sabão (JUVÊNCIO, 1958). Após a instalação da represa, os arroios de 1ª ordem como Vitorino, Taquara, Pequeno, Casa Velha e Sem Nome, juntos com nascentes do arroio Dilúvio passaram alimenta-la (MENEGAT et al., 2006).

Ainda entre os anos de 1912 e 1913 haviam modificações sendo realizadas no canal do Arroio Dilúvio, dentro da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS). Foi realizada a mudança de seu canal com o intuito de corrigir problemas decorrentes das periódicas enchentes que ocorriam na área (e que seguem ocorrendo sazonalmente). Realizou-se o desvio pelo sopé do morro Santana (Figura 2.2), aterrando-se o antigo leito sinuoso e retificando-o para o local onde hoje se encontra (RELATÓRIO, 1913).

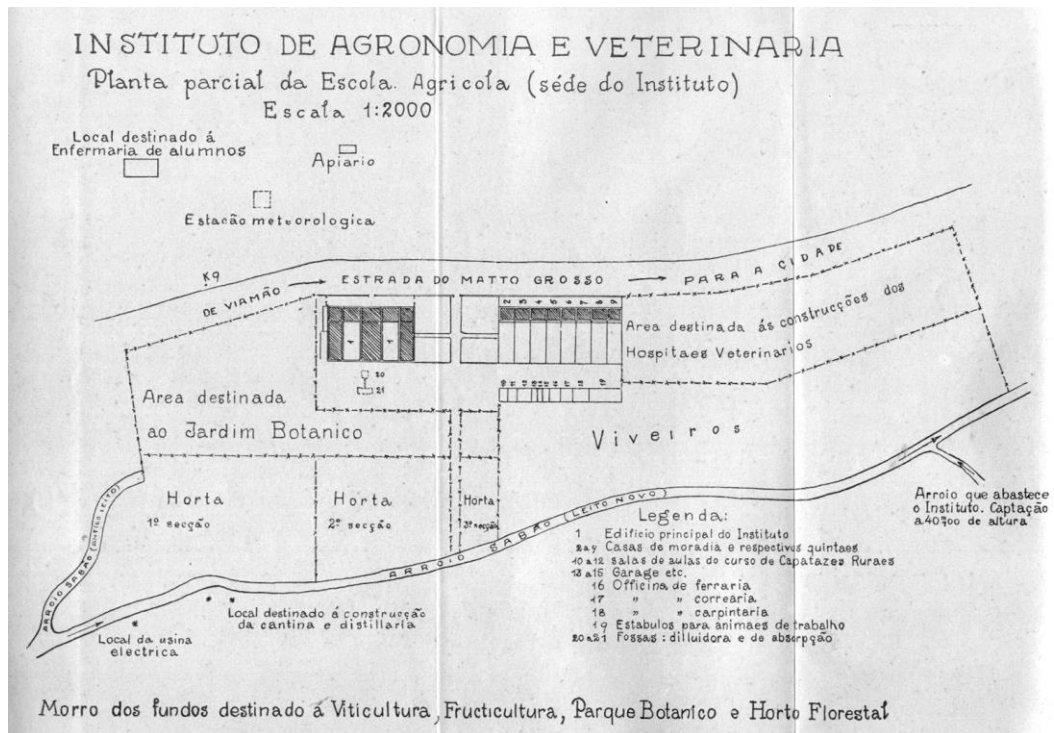


Figura 0.2: Mapa histórico da sede da Faculdade de Agronomia e Veterinária, limitada pela Estrada do Mato Grosso (atual Av. Bento Gonçalves), mostrando o desvio no percurso do Arroio Sabão (atual Dilúvio) dentro da Faculdade de Agronomia - UFRGS. Fonte: RELATÓRIO, 1914.

A maior e mais importante obra que modificou o Arroio Dilúvio foi sua canalização (Figura 2.3) proposta pelo Intendente José Montaury pela primeira vez no ano de 1914 no “Plano Geral de Melhoramentos do Município”, o qual dizia:

“Para o estado higiênico das adjacências do atual leito do Riacho, julgamos conveniente canalizá-lo em linha reta, seguindo o alinhamento atual do mesmo leito logo ao sair da ponte, que se acha na Rua 13 de Maio, em frente à Praça Garibaldi. O leito atual abandonado pela nova canalização será aterrado e incorporado as quadras novas figuradas no projeto” (Relatório do Projeto de Melhoramento e Orçamentos, 1914).

Apesar desta proposta ter sido registrada ainda em 1914, foi apenas em 1939 que foi dado início às obras do primeiro trecho da canalização, da foz até a Av. João Pessoa. Esse período de 25 anos foi marcado por uma

variedade de modificações no projeto, devido a problemas sociais e interesses políticos. O segundo trecho da canalização se iniciou em 1943, dando continuidade à canalização da Av. João Pessoa até a Av. Cristiano Fischer, obra que durou até 1974 (31 anos). Na década de 1980 é finalizada a obra até a Av. Antônio de Carvalho (BURIN, 2008). Cabe ressaltar que a Av. Ipiranga (que margeia o arroio de sua foz até a Av. Antônio de Carvalho) vinha sendo construída concomitantemente à canalização e ao crescimento da cidade.



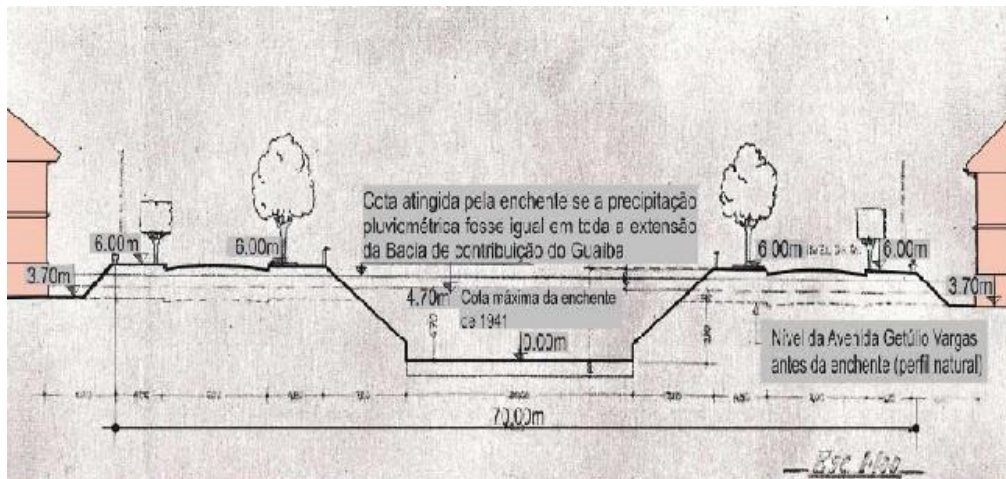
Figura 0.3: Arroio Dilúvio antes e depois das obras de canalização. Fonte: Burin, 2008.

Outras modificações ocorridas na região da bacia do Arroio Dilúvio envolvem o crescimento urbano no entorno do Arroio Moinho, em cujo leito principal deságua a margem esquerda do Dilúvio; fez-se um conduto fechado para que se construísse a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). A ocupação dessa área ocorreu a partir da jusante do arroio Moinho na década de 1940 com a instalação da PUCRS (das margens do Arroio Dilúvio até a Av. Bento Gonçalves), mas foi a partir de 1971, com as obras de canalização do Dilúvio, que houve o grande crescimento comercial e residencial na área. Hoje a sub-bacia do Arroio Moinho tem a maioria da sua superfície impermeabilizada e ocupações em locais de riscos com condições precárias de habitação e saneamento, trazendo sérios problemas ambientais para essa região. Atualmente, a vegetação natural desta região (Bairro Partenon e São José) é vista apenas nos topos de morros (LOPEZ, 2011).

As modificações no curso fluvial do arroio Dilúvio estão ligadas à ocupação das áreas planas próximas as suas margens, que são áreas associadas a inundações periódicas devido a seu relevo. Para viabilizar a ocupação dessas áreas, obras que modificam o fluxo hídrico da bacia são necessárias - como aterro, abertura de valas e canalização (FUJIMOTO, 2004).

Atualmente, o terço final do arroio é um canal de macrodrenagem da bacia projetado para cheias com tempo de retorno de 50 anos (Figura 2.4A). Dentro do canal há degraus dissipadores de energia e para oxigenar a água a cada 200 m até sua foz. O arroio possui 31 pontes em todo seu percurso, que acabam acumulando lixos de todo tipo (Figura 2.4B), dificultando assim o escoamento em tempos de grande precipitação pluvial e favorecendo o acúmulo de bancos de sedimento em quase todo o canal (TUCCI; COLLISCHONN, 1998). Próximo à sua foz, o Dilúvio possui 3 casas de bomba com capacidade de drenar das ruas 170 mil litros de água pluvial por segundo, auxiliando a drenagem em grandes eventos de chuva (DEP, 2019a; TUCCI, 2005).

A



B



Figura 0.4: A - Seção transversal projetada para a canalização e construção da Av. Ipiranga. Fonte: SILVA (1943). B - Ponte do cruzamento entre as avenidas Ipiranga e Prof. Cristiano Fischer. Lixo acumulado nos pilares da ponte (fev. 2018).

3. Impactos sócio ambientais na bacia do arroio Dilúvio

3.1 Crescimento populacional e alterações no uso da água e do solo

O Arroio Dilúvio é historicamente impactado. Sofreu com a ocupação nas áreas de suas margens e nascentes; foi transposto e canalizado, e criou-se em sua margem uma grande avenida de quatro vias de cada lado em grande parte do seu curso total (Av. Ipiranga) por onde trafegam milhares de automóveis diariamente. O desmatamento dos morros e da zona ripária tem como consequência o aumento da erosão com a ocupação desordenada, bem como o acúmulo de lixo, entulhos e sedimentos na área canalizada que, juntamente com a liberação de esgotos urbanos e industriais, tornam notória a poluição de suas áreas (MENEGAT et al, 2006). Este sistema aquático - que antes tinha as funções de balneabilidade, pesca e captação de água para abastecimento da população porto-alegrense - passou a ser receptor do esgoto pluvial da região mais adensada, e o drena para o Lago Guaíba.

O crescimento urbano no território de Porto Alegre foi heterogêneo nos aspectos econômicos, institucionais, locacionais e culturais. O período de 1940 a 1970 teve um crescimento populacional urbano da cidade causado pelo êxodo rural (Figura 2.5), configurado pela passagem de uma economia fundamentada na agricultura para urbano-industrial (CABETTE; STROHAECKER, 2014).

A partir de 1970, a urbanização cresceu quase exponencialmente. Além dos impactos ambientais, houve problemas socioambientais comuns dos grandes centros. As alterações da composição local do centro histórico de Porto Alegre, a canalização do arroio Dilúvio e o aterramento da orla do Guaíba, trouxeram novos pontos comerciais, construção de novos edifícios, valorizando a região afetando a população de baixa renda (SANTOS, 2014; SOARES; FEDOZZI, 2016).



Figura 0.5: Crescimento populacional de Porto Alegre de acordo com dados do IBGE 2011. Fonte: (CABETTE; STROHAECKER, 2014).

Inicia-se a gentrificação, que é o deslocamento de uma população (geralmente de baixa renda) de uma área da cidade para outra área; o objetivo é a valorização econômica (elitização) da área inicialmente ocupada pelos menos favorecidos (SOUZA, 2008). Em Porto Alegre, este fenômeno ocorreu, ainda na década de 1970, na região denominada “Ilhota”, atual centro cultural Lupicínio Rodrigues e Ginásio Tesourinha (MORANDI; FARIA, 2000). Assim, muitas famílias de baixa renda foram deslocadas de suas casas para ocupar áreas de risco - como encostas de morros e margens de rios - ficando vulneráveis e sem acesso a serviços públicos básicos (TUCCI, 2005b).

Entre as décadas de 1980 e 1990 a população de Porto Alegre cresceu perto de 12% e, com isso, os problemas socioambientais foram se agravando porque os benefícios da urbanização eram restritos a uma minoria. Devido a essa grande taxa de crescimento populacional em um curto período, houve o crescimento de moradias sem condições satisfatórias acompanhado da inexistência de políticas de uso e ocupação do solo, havendo ocupações em locais impróprios e de forma inadequada em todo território da cidade (FUJIMOTO, 2002; ORLANDI FILHO; GIUGNO, 1994).

Até 1950, era balneável e possível pescar nas águas do arroio Dilúvio - mesmo com as obras de canalização já iniciadas (Figura 2.6). Porém, com o progresso das obras, o arroio deixava de ser um local para lazer,

captação de água e navegação, e passava a ser um canal de macrodrenagem da cidade e despejo de esgotos.



Figura 0.6: Crianças banhando-se nas águas do Arroio Dilúvio em 1951, próximo à atual Av. Prof. Cristiano Fischer. Fonte: Arquivo histórico de Porto Alegre.

Durante o crescimento das cidades ocorre um aumento drástico na produção de sedimentos da bacia hidrográfica devido às atividades de abertura de áreas para as construções civis: os sedimentos atingem o leito principal depositando-se em seu caminho até a foz e com isso diminuindo a capacidade de escoamento de cheias, tornando cada vez mais comum os casos de inundações.

Outro problema é a impermeabilização da bacia hidrográfica que leva ao aumento do escoamento superficial, aumentando o pico de vazão da cheia e a antecipação do tempo de retorno. Alves(2004) apresenta o crescimento de áreas impermeáveis na sub-bacia do Arroio Dilúvio entre os anos de 1987 e 2000: tiveram um aumento de 8%. Em 2000, a área da bacia se encontrava com 62% de sua área total impermeabilizada.

Atualmente, a pequena bacia do Dilúvio encontra-se densamente habitada, com cerca 446 mil habitantes e aproximadamente 65% de superfície impermeabilizada, sofrendo diversos efeitos do crescimento populacional desordenado, da rápida industrialização de Porto Alegre e da falta de investimentos em saneamento básico (MOG et al., 2014; MOREIRA, 2010).

3.2 Origens da poluição no Arroio Dilúvio

A poluição das águas decorre da adição de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alteram as características físicas e químicas dos corpos d'água. Sistemas aquáticos são degradados levando ao exaurimento de seus recursos (ORTEGA; CARVALHO, 2013; PEREIRA et al., 2013). O despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento aumenta os níveis de nitrogênio e fósforo nos rios e lagos; há proliferação de algas que consomem mais oxigênio, levando à mortandade da biota aquática. Os metais traços - também despejados nos recursos hídricos - tendem a se acumular não apenas em sedimentos, como também em animais e vegetais, com efeito tóxico de acúmulo em seus organismos.

A poluição do Arroio Dilúvio é notória constantemente à população, seja pelo seu aspecto visual, seja pelos odores sentidos em suas margens. O arroio chega a receber 50 mil m³ de sedimentos por ano provenientes da erosão natural, da degradação de suas margens, da degradação das margens de seus afluentes, do acúmulo de resíduos sólidos urbanos. Por isso, há necessidade de periódicos desassoreamentos na parte canalizada (PORTO ALEGRE, 2019).

O trecho entre as nascentes do arroio e o bairro Agronomia (Porto Alegre) é marcado por ocupações irregulares em áreas de proteção (morros e zona ripária). Desde as suas nascentes, portanto, o arroio Dilúvio é modificado de forma negativa à sua qualidade ambiental (MOG et al., 2014). A região próxima à represa Lomba do Sabão tinha seus esgotos lançados em um afluente (arroio Vitorino) que desaguava na represa. Estes esgotos foram interceptados e conectados diretamente ao arroio Dilúvio (a jusante da represa), fazendo com que grande carga da rede cloacal desses bairros sejam lançados diretamente ao arroio Dilúvio sem tratamento prévio (MORANDI; FARIA, 2000).

A despeito de intervenções para diminuir a carga de poluentes na represa, é possível observar por imagens de satélite a frequente proliferação de macrófitas ou algas na lâmina d'água da Represa Lomba do Sabão (Figura 7). Produções de macrófitas ocorrem devido ao alto aporte de nutrientes (nitrito e fósforo) que são originados da matéria orgânica de esgoto doméstico,

e são mais recorrentes em sistemas lênticos (FIA et al., 2015; POMPÊO, 2017).

A barragem Mãe D'Água, localizada dentro do Campus do Vale - UFRGS, há tempos é estudada pois, até o ano de 2003, houve supressão de 65% da vegetação das APP (CARDOSO, 2011). Outros estudos desta região demonstram mudanças no relevo ocasionados por depósitos tecnogênicos e poluição por metais potencialmente tóxicos (Cd, Cu, Ni e Zn) de sedimentos em suspensão e de fundo (FERNANDES; POLETO, 2017; FUJIMOTO, 2002; POLETO; MERTEN, 2007). A poluição e degradação da paisagem são percebidas pela população (externa a estas áreas) como consequência do descaso das autoridades, falta de saneamento básico, e falta de educação ambiental da comunidade que ali reside (RANGEL, 2008).

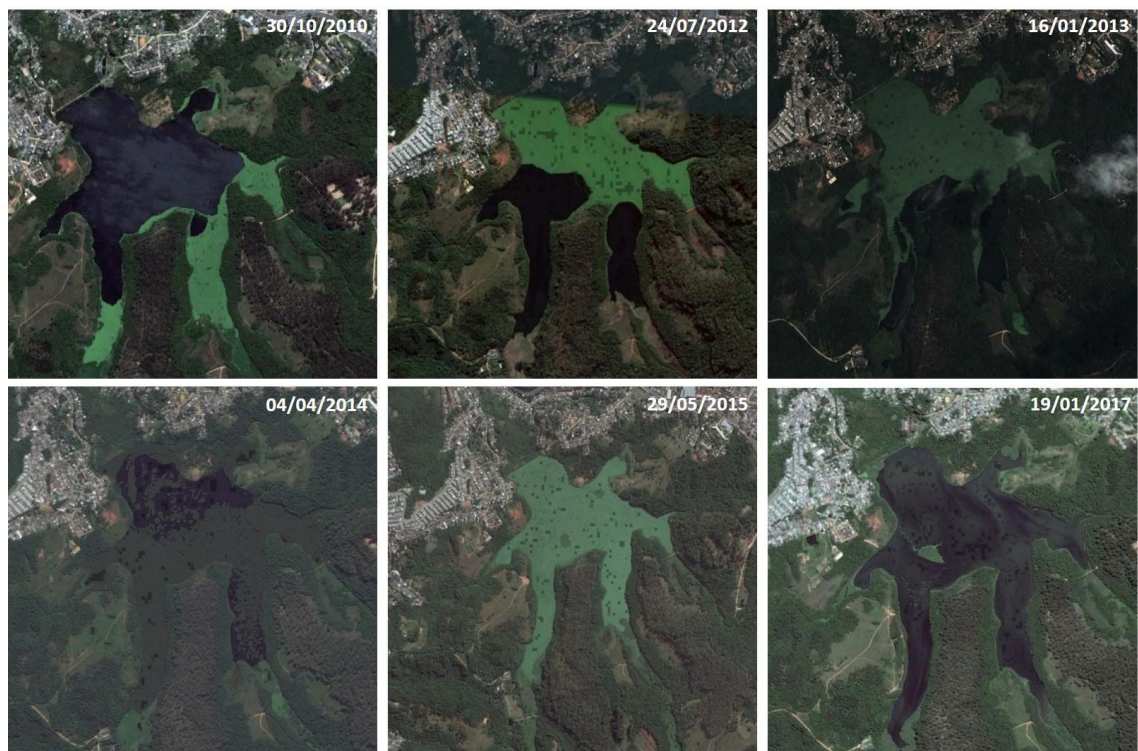


Figura 0.7: Imagens do Satélite Landsat da Represa Lomba do Sabão nos anos de 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2017. Fonte: Google Earth, 2018.

A vegetação ciliar em áreas urbanas tem vários benefícios: é refúgio para a biota aquática e terrestre, assegura a qualidade da água, mantém o ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, evita a erosão das margens dos rios e evita o assoreamento de seus leitos; é vital para o fluxo gênico entre

comunidades próximas e para qualidade de vida da população (SANTOS et al., 2018).

O trecho canalizado do arroio Dilúvio é quase totalmente margeado pela Av. Ipiranga, com quantidade insignificante de vegetação ciliar. Há apenas 2,5 m de talude em cada margem do arroio, vegetado com grama e quase sem árvores; não há absorção dos impactos (MARTÍNEZ; POLETO, 2014). Quase toda a extensão da parte canalizada possui, também, uma faixa de ciclovia; trata-se de uma intervenção de baixo impacto e que, em certa medida, escancara às pessoas a degradação do arroio, o que pode ser uma medida socioambiental de conscientização. Já houve, inclusive, plantio de algumas espécies arbóreas em suas margens.

Os sedimentos depositados nas vias urbanas afetam a qualidade do ar e das águas. Eles têm origem diversa, como vegetal e antropogênica, com poluentes orgânicos (como os poluentes orgânicos persistentes) e inorgânicos, como metais traços (SHARLEY et al., 2016a; TAYLOR; OWENS, 2009). No Arroio Dilúvio, as principais fontes de poluentes são os veículos que trafegam na Av. Ipiranga e o lançamento de esgotos não tratados.

Uma parte dos sedimentos do Arroio Dilúvio se deposita no fundo do arroio e é, de maneira paliativa, removido por dragagem de tempos em tempos. Outra parte é transportada para o Lago Guaíba. Um estudo de Andrade e colaboradores (2018) analisaram os sedimentos nas margens do Lago Guaíba e observou que os pontos próximos à foz do Arroio Dilúvio apresentavam maiores concentrações de carbono orgânico total ($7,5 \text{ g.kg}^{-1}$), de macronutrientes como N, P, K, Ca e Mg (360 ; 110 mg.kg^{-1} ; $0,25$; $0,87$; $0,47 \text{ g.kg}^{-1}$ respectivamente) e dos metais Al, Zn, Cu, Ni e Pb ($0,39 \text{ g.kg}^{-1}$; $34,5$; $10,9$; $2,8$; $14,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ nessa ordem). Analisando as concentrações de sólidos dissolvidos, em suspensão e totais exportadas pelas águas do arroio Dilúvio para o Lago Guaíba, Basso e colaboradores (2011) atestaram que a carga de sólidos totais varia de 9,3 a 75 toneladas por dia, conforme os eventos de precipitação ocorrem. A dragagem do arroio, portanto, mantém o fluxo de drenagem e evita problemas de inundação em eventos de cheias, mas é pouco eficaz quando se trata de reduzir poluição ambiental localmente, remoção de sedimentos contaminados transportados para o Lago Guaíba.

A turbidez das águas do Dilúvio é consequência de sua poluição; a uma profundidade de apenas 20 cm, o fundo do leito não é visível. Quando se analisou a qualidade da água no Lago Guaíba - estudo feito pelo governo municipal de Porto Alegre - os piores resultados foram nos pontos próximos à foz do Arroio Dilúvio; havia grande concentração de coliformes fecais, baixas concentrações de oxigênio, e grandes concentrações de metais como Zn, Cu e Cd (ANDRADE et al., 2018; COSTA; HARTZ, 2009).

O arroio Dilúvio tem suas águas monitoradas pelo projeto “Observando Rios” da ONG SOS Mata Atlântica, que busca mobilizar a comunidade na melhoria da qualidade das águas de rios e nascentes em suas regiões. Membros da comunidade fazem o monitoramento das águas, aferem o Índice de Qualidade da Água (IQA) com base na resolução CONAMA nº 357: a partir da análise de 16 parâmetros, a água é classificada em péssima, ruim, regular, boa ou ótima. Em 2018, as águas do arroio Dilúvio foram, na média anual, regulares; porém, em 4 avaliações mensais, apresentaram qualidade péssima (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA., 2019).

3.3 Medidas de compensação dos impactos

O acúmulo de sedimentos no canal do arroio Dilúvio e as diversas atribuições que lhe foram dadas (incluindo a macrodrenagem urbana) fazem com que a dragagem do canal se torne obrigatória para reduzir os danos com inundações em seu entorno. A grande impermeabilização do entorno faz com que os picos de vazão requeiram uma grande calha livre para receber estas águas. Porém, esta dragagem é uma atividade de alto custo (mais de R\$ 3 mi) pois, além do maquinário, são necessárias áreas para depósito destes grandes volumes (Tabela 2.1) (CALESSO, 2019; TUCCI, 2008).

O material dragado é destinado a aterros licenciados para receber este material, e é gerenciado pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU). As camadas de sedimentos que formam bancos no meio do canal apresentam características de areia; antigamente, este material era enviado aos depósitos do DEP e era aproveitado na construção de pavimentações.

Tabela 0.1: Volume de sedimentos dragados na parte canalizada do Arroio Dilúvio.

ANO	ÉPOCA	QUANTIDADE (m³)
2013	Jan–Nov	93.438
2014	Fev–Dez	42.675
2015	Jan – Out	37.400
2016	Abr – Nov	21.840
2017	Não foi realizada dragagem	0
2018/2019	Out. 2018 – fev. 2019	76.000

Fonte: PORTO ALEGRE, 2019c.

Em 2017, a dragagem não ocorreu por problemas com a concessão de licitação; foi iniciada apenas no final de 2018 e seguindo durante o ano de 2019 (PORTO ALEGRE, 2019a). Estudo sobre a potencial utilização do material dragado do canal mostrou que o uso na confecção de argamassa (para a construção civil) é uma alternativa. Soma-se um benefício: o uso deste material poroso na construção de pavimentos ajudaria a recuperar parcialmente a capacidade de infiltração das águas no solo e diminuiria o escoamento superficial em áreas urbanas (ACIOLE et al., 2003; YOUNG, 2010). Com o controle da drenagem, reduziria a entrada direta de poluentes e de sedimentos, a obstrução do canal e os custos com dragagens.

Uma iniciativa que vem mitigando a entrada de resíduos sólidos flutuantes no Lago Guaíba através do Arroio Dilúvio é a “Eco barreira”. Esta iniciativa é uma parceria público-privada, com participação do DEP e doações de terceiros. As operações iniciaram em 2016 e mantêm-se até hoje; são responsáveis pela remoção de mais de 482 toneladas de materiais, dos quais 20% se destinam a unidades de triagem para reciclagem. Houve redução de plásticos e, conseqüentemente, da poluição visual na orla do Guaíba. No entanto, não resolve a poluição físico-química da água (“Ecobarreira Arroio Dilúvio”, 2019).

Projetos socioambientais foram idealizados ao longo dos anos pelo DEP, DMAE, Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) e pelo Fundo Nacional de Meio Ambiente. Não foram, na maioria, colocados em prática. O projeto “Pró-Dilúvio” visava conscientizar a comunidade e integrá-la à difícil

tarefa de revitalização do Arroio Dilúvio. Outro projeto, chamado “Recuperação das Nascentes do Arroio Dilúvio”, queria recuperar as matas ciliares com plantio de mudas nativas em suas margens e entorno de nascentes, além de monitorar a qualidade das águas e promover a educação ambiental (PORTO ALEGRE, 2019b).

O “Projeto arroio Dilúvio: Um Futuro Possível” visava revitalizar o Arroio Dilúvio. A idéia surgiu após uma visita da comitiva do governo do Estado do Rio Grande do Sul a Seul (Coréia do Sul) onde o “Arroio Cheong Gye Cheon” foi revitalizado; como o Arroio Dilúvio, o Arroio Cheong Gye Cheon era altamente degradado e atravessava uma cidade altamente populosa. Criou-se uma parceria entre a UFRGS, PUCRS e as prefeituras de Porto Alegre e Viamão. A idéia era recuperar o Arroio Dilúvio com intervenção integrada de serviços de saneamento básico, inclusão social, acréscimo de áreas verdes, retomada da funcionalidade da bacia e educação ambiental (PORTO ALEGRE, 2019c). O início do projeto foi em 2011 e sua extinção veio apenas 2 anos depois por falta de recursos para continuar sua execução (ROCHA, 2014).

4.Considerações Finais

O arroio Dilúvio faz parte da história de Porto Alegre; ele atravessa a cidade de leste a oeste, perpassando regiões centrais e movimentadas da cidade. É parte da vida diária de milhares de porto alegrenses. Mesmo assim, o arroio é negligenciado pelo poder público que parece ignorar sua progressiva degradação.

O arroio é um patrimônio ambiental da população porto alegrense, e sua recuperação deve ser encarada como co-responsabilidade do estado e da sociedade; no entanto, a responsabilidade de investimento é atribuição do poder público. Há alternativas viáveis e potencialmente eficazes para recuperação do arroio, mas não se concretizam sem recursos públicos. O desinvestimento é, portanto, um impasse à recuperação do arroio Dilúvio. Quando a recuperação do arroio for uma prioridade dos órgãos públicos, pode-se imaginar um futuro melhor para o arroio e para todos os porto-alegrenses. Sem isso, continuaremos observando, perplexos, a rápida perda deste patrimônio ambiental.

CAPÍTULO 3- ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E POLUIÇÃO DOS SEDIMENTOS AO LONGO DO PERCURSO DO ARROIO DILÚVIO, SUL DO BRASIL

1. Introdução

O desenvolvimento urbano acelerado nas últimas décadas acarretou uma explosão populacional em espaços reduzidos, havendo competição pelos mesmos recursos naturais básicos para a manutenção da vida humana, como o solo e a água, onde suas qualidades e quantidade são fundamentais para essa manutenção. Isto fez com que muitos problemas ambientais viessem surgir, trazendo certo caos aos centros urbanos.

Em muitas cidades, a falta de infraestrutura e de serviços básicos adequados causa poluição nos corpos hídricos superficiais. Este problema é ampliado com o aumento do adensamento populacional em áreas marginais de rios e lagos. Esses ecossistemas são, muitas vezes, o destino de todos os tipos de resíduos produzidos pela atividade antrópica (COSTA; SILVEIRA, 2017; JATOBÁ, 2011).

Os corpos hídricos superficiais possuem importância na macrodrenagem urbana, sofrendo ao mesmo tempo impactos da liberação de esgotos urbanos e industriais em cidades com gestão ambiental precária. O transporte de sedimentos para os canais hídricos faz parte do ciclo natural hidrológico, porém o uso do solo, como abertura de áreas para construção civil somado as atividades urbanas, que geram poeira, favorece o aumento significativo de sedimentos transportados para o leito dos cursos d'água. Assim muitos desses rios precisam ser dragados para não sofrer com o assoreamento de seu leito e evitar a inundação das áreas urbanas (TUCCI, 2012).

Os sedimentos são partículas ativas dos recursos hídricos devido as suas características físico-químicas variadas, que podem favorecer a adsorção de contaminantes, sendo transportadores e destino final de muitos xenobióticos e elementos potencialmente tóxicos como alguns metais (SOUZA et al., 2015). Os sedimentos são formados pela deposição de partículas de variados tipos e origens, acumulando substâncias orgânicas e inorgânicas. Com isso, a análise dos sedimentos pode indicar a contaminação que uma bacia hidrográfica de drenagem apresenta e, também, detectar a poluição ao longo dos anos, dependendo do tamanho da partícula e profundidade que se encontra, dentre outros fatores, por exemplo, natureza das partículas e condições hidrológicas (ILIE et al., 2016).

Metais potencialmente tóxicos, por não serem biodegradáveis, podem ser bioacumulados nos organismos. Os metais são geralmente encontrados em pequenas concentrações em ambientes naturais, porém a atividade humana vem aumentando estas concentrações, fazendo com que sejam contaminantes causadores de danos graves para a vida humana (SOUZA et al., 2015; ZHAO et al., 2014).

O arroio Dilúvio, localizado na cidade de Porto Alegre (RS), sofreu várias alterações em seu trajeto e recebe diariamente grande quantidade de esgotos domésticos ilegais devido ao fato de apenas 56% do esgoto produzido no município ser tratado. Sua bacia foi estudada com intuito de avaliar o descaso ocasionado pela atividade antrópica (ALVES, 2004; BASSO et al., 2011; FERNANDES; POLETO, 2016; OLIVEIRA et al., 2005; YOUNG, 2010). Entretanto, nenhum estudo obteve dados para determinar os teores de metais pesados e nutrientes nos sedimentos. Dados como estes são importantes para definir as fontes de poluição e determinar formas de intervenção e mitigação para os impactos sobre o arroio Dilúvio, que flui pela área com maior densidade da capital.

O objetivo deste estudo é avaliar a variabilidade espacial da poluição por metais potencialmente tóxicos e macro nutrientes no arroio Dilúvio, desde a sua nascente até a sua foz.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

O Arroio Dilúvio é um córrego que flui na cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, percorrendo a capital no sentido Leste-Oeste desaguando no Lago Guaíba (Fig. 1), o qual é o manancial de abastecimento de água da cidade (ANDRADE et al., 2019). A micro bacia do Arroio Dilúvio (parte da bacia do Lago Guaíba) possui uma magnitude de 3ª ordem e apresenta uma área de 83,74 km² percorrendo 17,6 km, dos quais aproximadamente 12 km são canalizados (JUNQUEIRA, 2007; MENEGAT et al., 2006; OLIVEIRA; MEDEIROS, 2012).

As nascentes do arroio Dilúvio localizam-se no Parque Saint-Hilaire (30°06'14.89"S; 51°04'56.58"W), nos limites do município de Viamão com Porto Alegre, a 55 m acima do nível do mar. Em seu percurso, o Arroio Dilúvio possui uma barragem chamada Lomba do Sabão (Figura 3.1), a qual intercepta as principais nascentes do arroio Dilúvio. A barragem foi construída em 1940 com o intuito de captar água para o abastecimento da cidade de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2019c). Um de seus afluentes apresenta outra importante barragem, nomeada Mãe D'água, construída em 1963 para modelos de estudos e pesquisas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (FREITAS, 2005).

Os trechos das nascentes do arroio e na região da Faculdade de Agronomia (entre os pontos AD02 e AD03; Figura 3.2 e Tabela 3.1) possuem as margens mais arborizadas da bacia hidrográfica, devido ao Parque Saint Hilaire e às áreas de morros pertencentes à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porém, regiões próximas as essas áreas são ocupadas irregularmente, principalmente em beiras dos corpos d'água. Assim o arroio recebe a água impactada, por dejetos lançados diretamente nas suas águas e de seus afluentes, permitindo notar-se traços de poluição antes mesmo de se adentrar na área canalizada (MOG et al., 2014).

Atualmente, a bacia do Arroio Dilúvio é a mais densamente habitada do estado, com cerca 5.300 hab./km², ou seja, 1/3 da população porto-alegrense reside nela. Este crescimento populacional desordenado gerou

diversos impactos devido a rápida industrialização de Porto Alegre e à falta de investimentos em saneamento básico (MOG et al., 2014).

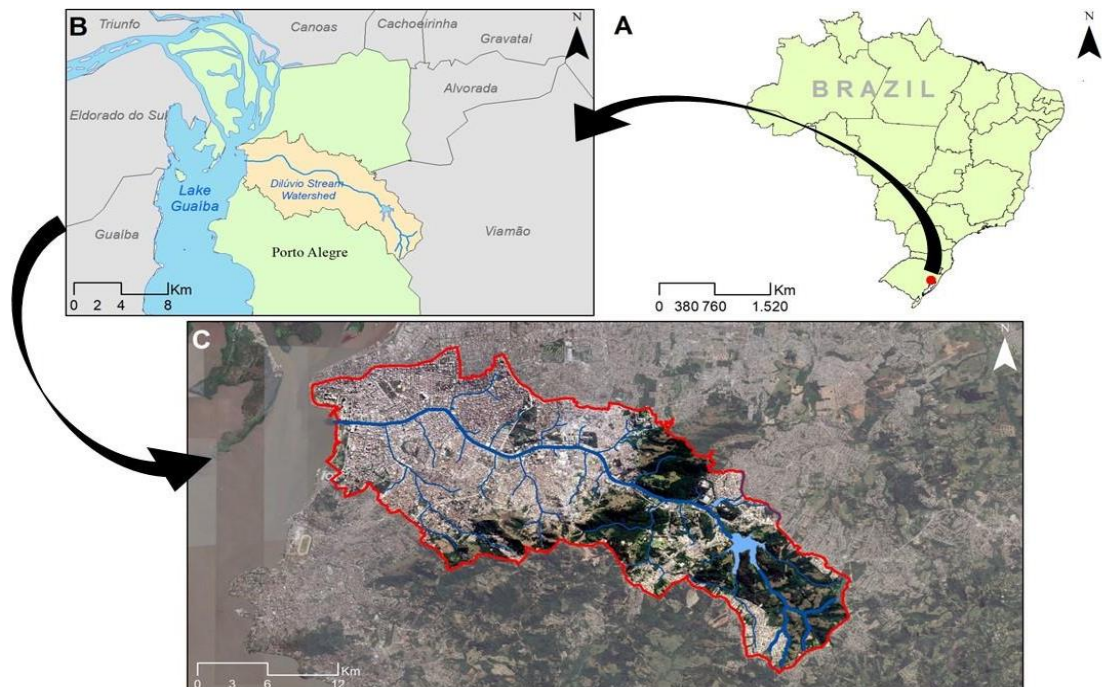


Figura0.1: (A) Mapa do Brasil com as unidades federativas; (B) Região metropolitana de Porto Alegre, destacando a área de estudo; (C) Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio sobre a imagem obtida no Google Earth.

A canalização e a retificação modificaram o canal do arroio Dilúvio (de meandrante para retilíneo), retirando toda a sinuosidade do seu terço final. Este trecho é margeado pela Avenida Ipiranga, uma das principais vias de fluxo de veículos da capital, onde passam milhares de carros por dia, além de apresentar a maior área impermeabilizada da bacia com edifícios e comércio (MOG et al., 2014), sendo seu entorno extremamente modificado pela grande ocupação e uso antrópico.

2.2 Preparação das Amostras

As amostras de sedimento foram coletadas em fevereiro de 2017 ao longo de todo o curso do Arroio Dilúvio, desde as nascentes até a sua foz (Figura 3.2), totalizando 15 pontos amostrais em uma distância acumulada de aproximadamente 18 km (Tabela 3.1).



Figura0.2: Pontos de coleta de amostras e parte canalizada em seu curso principal, Bacia Arroio Dilúvio, Porto Alegre – RS.

A coleta foi realizada a partir das pontes que cortam o curso d'água e com auxílio de um bolsista de iniciação científica e de uma draga de inox modelo *Eckman* de forma composta (com 5 sub-amostras por ponto), em uma profundidade média de 5 -10 cm de lâmina d'água (Figura 3.3), sendo estas acondicionadas em potes de polietileno e transportadas em caixas térmicas com gelo até o laboratório onde foram armazenadas em geladeiras a aproximadamente -2° C até o início dos procedimentos de análise. Posteriormente as amostras foram secas a 45° C e as análises foram desenvolvidas em triplicata. Todos os equipamentos utilizados no processo de coleta e análises foram previamente descontaminados com solução de ácido clorídrico.



Figura 0.3: Procedimento de coleta das amostras de sedimentos com auxílio de uma draga modelos *Eckman* (2017).

A análise de granulometria foi realizada no Laboratório de Sedimentos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) através do método do peneiramento a seco NBR7181 (ABNT, 2016). As outras análises foram feitas no Laboratório de análise de solos – LAS/UFRGS; a determinação do Carbono Orgânico Total (COT) foi feita pelo método da digestão úmida (Walkley-Black), a análise de Nitrogênio Total pelo método Kjeldahl (NTK) e o Fósforo Orgânico, Inorgânico e Total conforme o metodologia descrita por Froehner e Martins (2008) e do Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (SILVA et al., 2009).

Tabela0.1: Pontos de coleta de sedimentos de fundo do Arroio Dilúvio, Porto Alegre - RS.

Pontos	Referência	Distancia (km)	Coordenadas Geográfica
Source	Unidade de Conservação Parque Saint' Hilaire	0.0	30° 06'14.89"S; 51°04'56.58" W
Reservoir	Unidade de Conservação Parque Saint' Hilaire	3.2	30° 05'18.06"S 51°06'17.74" W
AD1	Divisa PoA /Viamão	4.8	30° 04'43.31"S 51°07'04.05"W
AD2	Portico campus Vale (UFRGS)	5.6	30°04'28.02"S 51°07'27.14"W
AD3	Faculdade de Agronomia	7.0	30° 04'14.25"S 51°08'18.19"W
AD4	Ponte Av. Ipiranga/Av. Antônio de Carvalho	8.5	30° 03'52.00"S 51°09'01.08"W
AD5	CEEE-RS	9.8	30° 03'21.36"S 51°09'01.08"W
AD6	Ponte Av. Ipiranga/Av. Prof. Cristiano Fisher	10,7	30° 03'20.85"S 51°10'07.96"W
AD7	Passarela de pedestre – loja Unidas VW.	11.7	30° 03'31.70"S 51°10'43.47"W
AD8	Shopping Bourbon Ipiranga	12.7	30° 03'20.75"S 51°11'18.62"W
AD9	Ponte Av.Ipiranga/Av. Gel Lucas de Oliveira	13.8	30° 02'54.76"S 51°11'47.18"W
AD10	Ponte Av.Ipiranga/ Av. Silva Só	14.8	30° 02'36.06"S 51°12'13.83"W
AD11	Ponte Av.Ipiranga/Av, Azenha	15.9	30° 02'51.28"S 51°12'48.52"W
AD12	Ponte Av. Ipiranga/R. Mucio Teixeira	16.9	30° 02'53.37"S 51°13'26.00"W
AD13	Foz com o Lago Guaíba	17.7	30° 02'50.73"S 51°13'57.28"W

Os teores pseudototais de metais (Fe, Al, Mg, Ca, K, Na, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb e Cd) foram obtidos de acordo com a metodologia EPA 3050B (USEPA, 1996). Os elementos nos extratos foram quantificados por espectrômetro de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES; PerkinElmer® Optima™ 8300), utilizando padrões internos para controle e verificação com Limites de Detecção (LD) de: Zn - 2,0; Pb - 2,0; Cu - 0,6; Cr - 0,4; Ni - 0,4; Cd - 0,2 µg / g).

Foi efetuada a padronização por Al dividindo as concentrações dos metais, pelos valores de Al de cada amostra. O Al foi escolhido por ser um dos metais mais comuns na crosta terrestre e encontrado em grandes concentrações nos solos e sedimentos da região. Quando padronizadas as concentrações dos metais pelos valores de Al, há uma compensação das diferenças granulométricas das partículas de sedimentos, devido à maior concentração dos metais em tamanho de partículas pequenas (SODRZEIESKI et al., 2018).

Posteriormente, foi organizado um banco de dados para utilizar técnicas de geoprocessamento para espacialização dos dados em mapas no programa ArcGis® 10.4.

3. Resultados

Os sedimentos superficiais do Arroio Dilúvio apresentaram uma predominância (96%) de partículas da fração areia (Tabela 3.2). Os pontos que apresentaram maiores valores de partículas finas (silte+argila) foram: Reservoir/Barragem (4,7 %), AD03 (4,3%) e AD13 (2,9 %). Os demais pontos de coleta apresentaram teores muito baixos de partículas finas (<1,5 %), tendo predominância das frações areia média e grossa. Os valores de densidade aparente foram semelhantes entre todos os pontos analisados (entre 1,3 e 1,4 g/cm³). A condutividade elétrica (CE) mostrou uma ampla variação entre alguns pontos próximos, como entre a nascente (24,4 µS/cm) e a Barragem (230 µS/cm) e também entre os pontos AD04 (97,7 µS/cm) e AD05 (201 µS/cm). O pH mostrou grande amplitude entre os pontos, variando de 4,7 a 6,8. Os menores valores de pH apareceram nos pontos AD09 (4,7) e AD10 (4,9) e os maiores em Nascente (6,8) e AD01 (6,3) (Tabela 3.2).

Tabela0.2: Análise granulométrica nas amostras de sedimentos dos pontos coletados no Arroio Dilúvio

Pontos	Ds ¹	Silte + Argila	Areia fina	Areia média	Areia Grossa	pH	CE ²	Prof. ³
	(g.cm ⁻³)	(<0,062mm)	(0,25 a 0,062 mm)	(0,5 a 0,25 mm)	(2.0 a 0.5 mm)	(CaCl ₂)	(μS.cm ⁻¹)	(m)
----- % -----								
Nascente	1,2	0,77	4,37	33,06	61,80	6,8	24,4	0,05
Reservatório	1,3	4,68	28,33	24,67	42,35	5,4	230	0,80
AD01	1,4	1,48	6,66	16,81	75,05	6,30	223	0,05
AD02	1,4	0,52	7,90	66,04	25,54	5,97	97	0,10
AD03	1,3	4,29	45,39	46,04	4,28	5,50	94	0,50
AD04	1,3	0,16	1,30	11,82	86,72	5,77	97	0,25
AD05	1,4	0,10	2,95	36,65	60,30	5,90	200	0,25
AD06	1,4	0,00	1,68	34,61	63,71	5,17	192	0,25
AD07	1,3	0,42	3,38	55,82	40,39	5,17	274	0,30
AD08	1,4	0,28	3,26	25,23	71,24	5,47	226	0,30
AD09	1,4	0,31	3,96	39,48	56,25	4,70	247	0,30
AD10	1,4	0,21	16,00	56,07	27,72	4,90	289	0,35
AD11	1,4	0,14	13,83	77,37	8,66	5,20	289	0,40
AD12	1,4	0,51	7,21	40,47	51,81	5,13	235	0,60
AD13	1,3	2,87	32,07	25,84	39,22	5,53	386	1,20
M ± EP⁴	1,4±0,0	2,1±0,1	5,2±0,6	39,3±2,6	71,1±0,9	5,5±0,0	207,3±6,3	0,4±0,0
CV %⁵	5,6	89,1	174,8	46,5	19,8	9,8	45,5	79,5

¹ Ds: Densidade; ² CE: condutividade elétrica; ³ Prof.: Profundidade coluna d'água; ⁴ M± EP: Média e erro padrão; ⁵ CV%: Coeficiente de Variância;

Os valores de carbono orgânico total (COT) variaram de 5,4 a 104 g kg⁻¹ (Tabela 3.3), onde o maior valor foi encontrado na barragem Lomba do Sabão (Reservoir). Outro ponto com valor significativo de COT foi o mais próximo a foz, no ponto AD13 (61,2 g kg⁻¹), após o final da canalização do arroio (já na área de transição com o Lago Guaíba). Os valores de N e P total variaram de 0,7 a 6,65 g kg⁻¹ e 11,75 a 140 µg g⁻¹, respectivamente, estando na Barragem os maiores valores de ambos. A maior variação nos teores de fósforo total (P_T) entre pontos foi entre a nascente e barragem. O resultado da análise de fracionamento do fósforo mostrou que na maioria dos pontos o fósforo orgânico (P_O) representa mais de 50% do P_T (Tabela 3.3).

Tabela 0.3: Valores de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio (N), Fósforo Total (PT), Fósforo Orgânico (PO) e Fósforo Inorgânico (PI) e a relação C/N das amostras de cada ponto coletado

Pontos	COT g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	PT µg g ⁻¹	PO µg g ⁻¹	PI µg g ⁻¹	C/N
Nascente	14,9	0,74	11,7	6,14	5,61	20
Reservatório	104,2	7,48	139,8	107,44	32,35	13,9
AD01	34,4	6,65	72,9	49,79	23,12	5,2
AD02	11,5	1,36	32	17,79	14,25	8,5
AD03	36,8	2,76	74	46,2	27,78	13,3
AD04	5,4	1,74	38,2	21,85	16,35	3,1
AD05	22,2	2,1	46,3	28,55	17,76	10,6
AD06	14,2	1,62	48	10,43	37,54	8,8
AD07	24,5	1,84	95,3	73,43	21,92	13,3
AD08	21,8	2,34	109,7	77,97	31,79	9,3
AD09	21,5	2,04	71,9	49,13	22,74	10,5
AD10	26,5	2,56	97,7	71,72	26,01	10,3
AD11	26,2	2,15	99,6	55,74	43,93	12,2
AD12	27,5	1,95	85,3	42,62	42,7	14,1
AD13	61,2	4,16	107,5	62,2	45,31	14,7
M ± EP¹	30,2±1,6	2,2±0,1	75,3±2,3	48,07±1,9	27,3±0,8	12±0,3
CV %²	80,3	64,68	46,1	58,5	42,8	36,6

¹ M±EP: média ± erro padrão; ² CV% Coeficiente de variância

As concentrações médias dos elementos pseudo-totais apresentaram a seguinte ordem de magnitude: Fe>Al>Mg>Ca> K> Na> Mn> Zn> Cu> Cr>Pb>Ni>Cd (Tabela 3.4). Dentre os metais potencialmente tóxicos, o Zn apresentou as maiores concentrações (58,8 mg kg⁻¹), seguido por Cu (22,8 mg kg⁻¹), Cr (12,2 mg kg⁻¹) e Pb (12,1 mg kg⁻¹).

4. Discussão

4.1 Granulometria

A deposição de materiais em ambientes aquáticos depende de fatores como intensidade do fluxo e velocidade das correntes, junto com a profundidade da coluna d'água, originando o perfil granulométrico do sedimento de fundo (STEVANUX; LATRUBESSE, 2017). A Barragem da Lomba do Sabão, altera o sistema lótico natural do arroio Dilúvio, transformando-o em um trecho lântico onde ocorre maior deposição do sedimento. Com isso, maiores quantidades de partículas finas (4,68 %) foram encontradas nesse ponto (Tab. 2).

Os pontos AD01 e AD02 encontram-se em áreas com fragmentos de mata ciliar, sendo locais de amortecimento dos impactos ocasionados a montante, apresentando poluição da ação antrópica no curso do Arroio. O ponto AD03 (Faculdade de Agronomia) encontra-se no trecho com maior presença de mata ciliar do Arroio Dilúvio, tendo 300 m de mata preservada em sua margem direita (encosta do Morro Santana) e 30 m a sua esquerda (Faculdade de Agronomia – UFRGS).

O trecho referente a Faculdade de Agronomia, compreende aproximadamente 2,7 km do curso d'água, com barreiras criadas com galhos e raízes da vegetação no leito do rio, além de apresentar uma profundidade de 0,5 m, assim mais partículas finas foram encontradas em AD03 comparado com os pontos a sua jusante, onde inicia o trecho canalizado (Figura 3.1 e 3.2). Sodrzeieski e colaboradores (2018), estudando os sedimentos nesta seção, encontraram valores com pouca variação ao longo do trecho da fração fina (0,4 a 1%) e atribuíram à maior sinuosidade e profundidade deste trecho do arroio, assim como a presença de mata ciliar, configurando uma seção de depósito.

A canalização do Arroio Dilúvio (entre as décadas de 1940 e 1980) foi construída com a finalidade de melhorar a macrodrenagem urbana e possibilitar o desenvolvimento da cidade no sentido zona Sul, inicia entre os pontos AD03 e AD04 e finaliza após o ponto AD12. Esse trecho canalizado corresponde, ao mesmo tempo, à área de maior impermeabilização da bacia, maior largura do canal e com menor profundidade da coluna d'água em condições normais. Entre os pontos AD04 a AD12 o canal possui degraus

dissipadores de energia a cada 200 m, com a função de evitar danos em eventos pluviométricos de grande precipitação, que aumentam a velocidade do fluxo da água e que poderiam causar danos em suas margens. Nesse trecho também são encontradas 31 pontes, sendo que algumas delas acumulam lixos de todo tipo de origem, dificultando a passagem da água e sedimentos mais grossos. Sendo assim, são encontrados bancos de sedimentos de fração grossa no decorrer da parte canalizada.

O ponto AD13 (foz do arroio, no Lago Guaíba) tem suas margens vegetadas e maior profundidade (1,2 m) comparado com os outros pontos (Tabela 3.2), formando uma região de remanso devido ao refluxo com o Lago Guaíba. De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017), na confluência entre canais de magnitude muito diferenciada ocorre a formação de uma barreira de sedimentos, dando base a deposição maior de finos nesse ponto comparado com as outras amostras do canal de drenagem.

Em todas as amostras ocorreu predominância de partículas da fração areia média e grossa (2 mm a 0,25 mm); fator que favorece essa característica granulométrica do sedimento é a velocidade de fluxo do arroio, que leva as partículas finas adiante (Lago Guaíba); isso ocorre devido as características naturais de intensidade e velocidade do fluxo de água somados com a profundidade da coluna d'água e, também, as interferências ocasionadas pela urbanização da bacia com aumento da área impermeabilizada e erosão de áreas de construção civil. Estas interferências são atenuadas por não possuir mata ciliar em suas margens, não havendo assim amortecimento da drenagem, o que acarreta o transporte de todas as partículas para o leito do arroio Dilúvio. No seu terço final, onde sofreu canalização, em condições normais a coluna d'água não ultrapassa os 40 cm na maior parte do percurso (Tabela 3.2), e em eventos pluviais há aumento da vazão, transportando a maior parte da fração fina para o Lago Guaíba. Valores semelhantes de fração areia foram encontrados por Froehner e Martins (2008) no Rio Barigui, Paraná – BR, com fração areia acima de 80%, atribuindo seus resultados a turbulência e velocidade da água devido à pequena largura (<1,5 m) e profundidade do canal (<0,5 m).

Tabela0.4: Concentrações de metais nas amostras ao longo do percurso do Arroio Dilúvio, Porto Alegre - Sul do Brasil.

Pontos	Distância Acumulada	Fe	Al	Mg	Ca	K	Na	Mn	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni	Cd ⁵
	Km	mg/kg												
Nascente	0	4460	2496	351	190	269	37	60	7,5	0,6	5,3	6,0	0,5	<LD
Reservatório	3.2	15286	10970	2906	949	2841	79	265	35,5	9,7	7,0	12,2	4,5	<LD
AD01	4.8	11068	8109	1231	1951	115	566	144	42,0	19,1	12,1	5,7	4,0	<LD
AD02	5.6	3806	2042	377	263	44	148	69,3	10,6	2,5	2,4	1,6	2,3	0,30
AD03	7	7064	6128	789	643	52	477	95,4	27,7	7,3	5,1	2,9	2,0	<LD
AD04	8.5	2981	2229	256	438	53	155	43,8	12,7	1,9	<LD	1,4	1,7	<LD
AD05	9.8	4129	2137	582	572	50	260	46,5	19,8	3,9	2,5	2,7	2,1	0,32
AD06	10,7	4004	2225	615	578	75	251	32,7	22,6	3,9	2,9	2,2	3,2	0,23
AD07	11.7	4926	2665	819	601	106	224	48,2	31,4	6,1	3,7	3,1	3,2	<LD
AD08	12.7	3634	2654	608	817	97	195	46,9	34,1	6,6	3,1	2,7	2,6	<LD
AD09	13.8	3879	2178	584	698	67	176	37,7	27,9	4,7	3,6	2,9	2,6	<LD
AD10	14.8	4879	2688	781	963	112	218	56,7	34,9	9,2	7,0	3,4	3,3	<LD
AD11	15.9	3513	2315	577	678	82	224	90,8	47,7	5,8	4,7	2,5	2,1	<LD
AD12	16.9	3996	2465	634	789	104	174	47,1	44,8	22,8	5,5	3,6	2,6	<LD
AD13	17.7	6725	5875	1117	1083	154	392	78,2	58,8	18,0	11,2	5,3	4,4	<LD
M ± EP ¹	-	5623±224	3812±180	815±42	748±27	438±45	82±2	77±4	30,5±0,9	8,2±0,4	5,2±0,2	3,9±0,2	2,8±0,0	0,12±0,0
VR ²	-	-	-	-	-	-	-	-	47,45	11,61	31,3	15,63	4,89	0,07
MLG ³	-	-	-	-	-	-	-	-	132	78	33	42	28	0,3
VO ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	123	35,7	35	37,3	18	0,6

¹ M±EP: média ± erro padrão; ² VR: Valor de Referência (POLETO, 2007); ³ MLG: média dos valores encontrados no Lago Guaíba (ANDRADE et al., 2019); ⁴ VO: valor de orientação de sedimento dragado CONAMA resolução 454/2012 (nível 1); ⁵ <LD: menor que o limite de detecção;

4.2 Carbono, nitrogênio e fósforo

As partículas finas dos sedimentos estão associadas ao maior acúmulo de matéria orgânica devido a sua maior área superficial específica – ASE (FROEHNER; MARTINS, 2008). Os maiores valores de Carbono Orgânico Total (COT) são encontrados nos locais onde ocorre maior concentração das frações silte e argila, como na barragem da Lomba do Sabão (Ponto Reservoir - $104,2 \text{ g kg}^{-1}$) e na foz do Arroio (AD13 - $61,2 \text{ g kg}^{-1}$) corroborando com os resultados encontrados por Andrade et al. (2018) que constataram uma forte correlação ($r^2=0,94$) entre a fração silte e argila e a concentração de COT no sedimento do Lago Guaíba próximo a foz do Arroio Dilúvio. A matéria orgânica (MO) adsorvida nos sedimentos é constituída principalmente de substâncias húmicas, devido à degradação química e enzimáticas de material orgânico (AGUIAR NETO et al., 2012). O ponto da barragem Lomba do Sabão tende a apresentar maiores concentrações de MO por possuir mata ciliar em suas margens e grande proliferação de macrófitas em determinadas épocas do ano.

A falta de investimento em saneamento básico está diretamente ligada à proliferação de doenças infecciosas e seus vetores. Dados apresentados pelo Ministério da Saúde atestam que para cada real investido no setor de saneamento, 4 reais são economizados na área da medicina curativa (GLAAS, 2015). Apesar de Porto Alegre possuir capacidade de tratamento de 80% do volume de esgotos produzidos pela sua população, trata apenas 65 % deste total (PORTO ALEGRE, 2019a). Nas imediações da Barragem Lomba do Sabão encontram-se 170 moradias de baixa renda, e que acabam destinando dejetos sem tratamento na margem do arroio (PORTO ALEGRE, 2019), provável fonte de nutrientes para a proliferação de macrófitas na Barragem.

A relação C/N é utilizada para estimar a origem do material orgânico (FROEHNER; MARTINS, 2008), sendo que menores valores da razão (<10) estão ligados a material originado de organismos vivos, pois possuem maior quantidade de nitrogênio em sua estrutura em relação ao carbono (ALEXANDRE et al., 2006). As razões C/N das amostras do Arroio Dilúvio mostram valores entre 3,1 e 20, o que se aproximou de outros estudos que atribuíram valores a material de origem antrópica para os menores valores (<10) e origem vegetal para os de maiores valores (GELAIN et al., 2010).

Todos os pontos que apresentaram relação C/N acima de 10 apresentam vegetação em suas margens ou bancos de sedimentos cobertos por vegetação no meio do canal, já os pontos com valores menores de C/N são prováveis que estejam ligados a proximidade com locais de lançamentos de dejetos não tratados. Os menores valores de COT são encontrados nos pontos no início do trajeto canalizado até próximo à foz (AD05 a AD10). Isto ocorre, por em quase sua totalidade ser compostos de sedimentos arenosos. Esse comportamento deve-se também pela ausência de mata ciliar neste trecho, onde a principal fonte de COT é possivelmente oriunda da poluição antrópica (como os esgotos).

Outro fator que confirma a poluição do Arroio Dilúvio por esgotos não tratados é a porcentagem de fósforo orgânico (PO) e inorgânico (PI). Normalmente a fração do PI é $\geq 60\%$ do fósforo total (PT) em ambientes sem ação antropogênica (MATER et al., 2004). Os valores encontrados nessas amostras apresentaram teores maiores de fósforo orgânico (PO), no qual apenas o ponto AD06 onde o PI foi de 78,2%, este valor possivelmente se deve ao fato da inexistência de fração fina (silte+argila) neste ponto, e que o teor de PO encontrado se deve a quantidade de MO encontrado no ponto. Já os outros pontos mostraram valores entre 23 a 50% apenas de PI, constatando que há carga de fósforo sendo lançada ao arroio devido principalmente a efluentes não tratados (Figura 3.4). Valores semelhantes de PO foram encontrados nos sedimentos de fundo das sub-bacias do Rio Cuiabá e São Lourenço, atribuído valores de PO a poluição difusa de efluentes domésticos e fertilizantes provenientes das áreas agrícolas (SILVA, 2014).

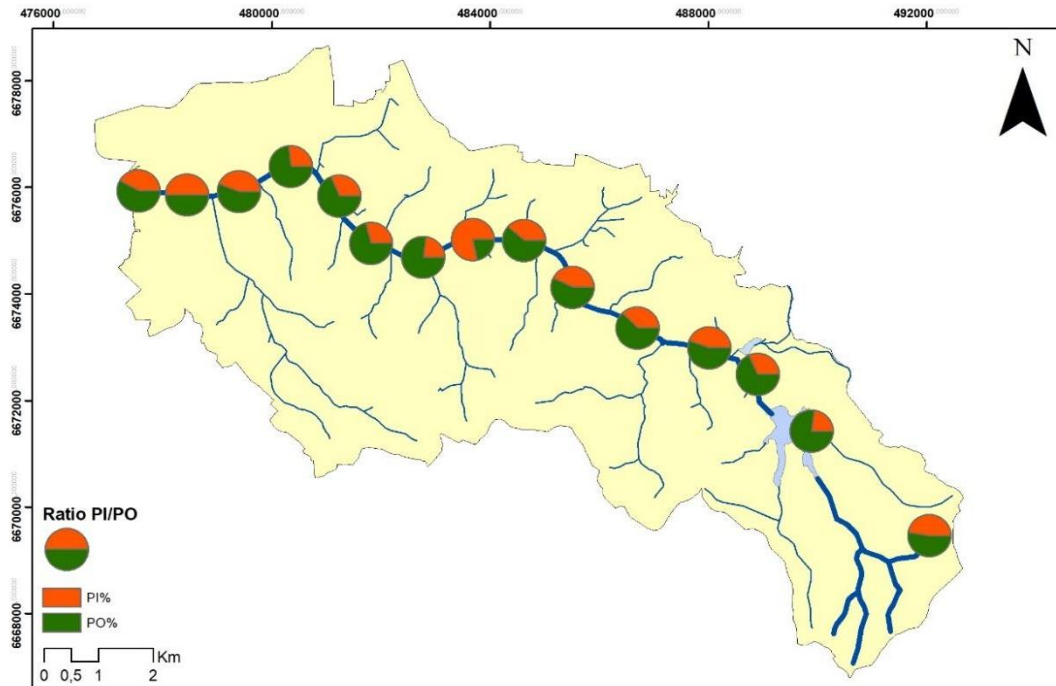


Figura0.4: Relação entre a porcentagem de fósforo orgânico e inorgânico nos pontos analisados, arroio Dilúvio, Porto Alegre - RS.

4.3 Metais potencialmente tóxicos

Os metais potencialmente tóxicos são considerados contaminantes comuns devido aos seus níveis nos ecossistemas aumentarem pela atividade antrópica e por não serem degradáveis, permanecendo por longo tempo no ambiente, principalmente nos sedimentos (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

Nas amostras analisadas do Arroio Dilúvio, houve variação significativa das características físico-química ao longo do percurso, havendo um acúmulo da nascente até sua foz (Tabela 3.4). Este acúmulo se deve ao fato de seu curso fluir por áreas com fontes potenciais desses metais, como indústrias, comércios, serviços, hospitais ao grande fluxo de automóveis na Av. Ipiranga que margeia seu curso. Além disso, de acordo com o relatório mensal da Secretaria Municipal de Serviços Públicos (SMSUrb), foram retirados lixos diversos (pilhas, sofás, fogão, etc.) e mais de 400 pneus do trecho canalizado em sua última dragagem (ROSARIO, 2019), o que provavelmente contribuem para a concentração desses poluentes no arroio Dilúvio.

Segundo Andrade et al. (2018), a foz do arroio Dilúvio foi um dos pontos mais críticos em relação aos níveis de qualidade ambiental no Lago

Guaíba. A parte canalizada do arroio Dilúvio possui fontes de poluição oriundas das atividades urbanas (SODRZEIESKI et al. 2018).

Quando os valores das concentrações de metais potencialmente tóxicos são padronizados com o teor de Al nota-se o acúmulo e aumento no teor de alguns metais ao longo do percurso do Arroio Dilúvio (Figura 3.5).

A presença de material orgânico aumenta a concentração de carbono, que, por reações de complexação, podem manter os níveis de metais mais altos nos sedimentos ou solubilizados na coluna d'água (SODRZEIESKI et al., 2018; SOUZA et al., 2015). Este fato corrobora com as concentrações encontradas na Barragem Lomba do Sabão, que apesar de apresentarem maiores valores brutos de metais comparado com outros pontos, apresentou também maior concentração de COT, o que possivelmente explica esses valores (Figura 3.5).

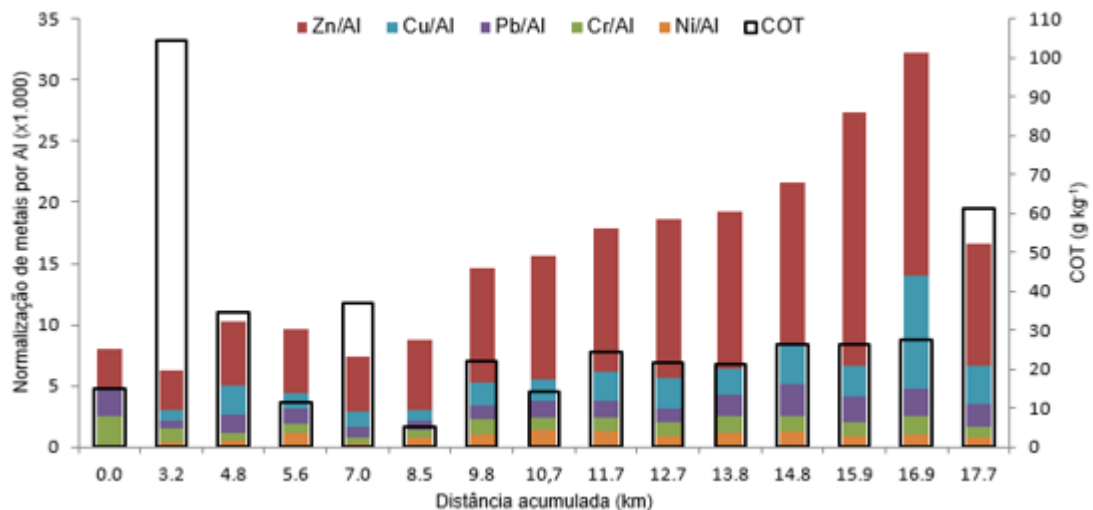


Figura 0.5: Concentração de Zn, Cu, Pb, Cr e Ni padronizados pelo teor de Al e concentração de Carbono Orgânico Total (COT) ao longo do percurso do Arroio Dilúvio.

É evidente o aumento nas concentrações de alguns metais, principalmente a partir do ponto AD06, apresentando algumas flutuações entre os primeiros pontos (Figura 3.5). Ao se aproximar de sua foz, o Arroio Dilúvio tem suas imediações cada vez mais impermeabilizadas, apresenta redução das áreas drenantes e somado com o aumento das descargas de águas residuais, o sistema de microdrenagem (tubos, sarjetas, bocas-de-lobos) leva

para a macrodrenagem(arroio Dilúvio) poluentes orgânicos e inorgânicos de várias fontes originadas das atividades antrópicas.

Os valores de metais biologicamente essenciais como Zn e Cu tiveram suas concentrações maiores que os não essenciais como Cr e Pb. É comum as concentrações de metais biologicamente essenciais serem maiores que as concentrações de metais não essenciais como Cr e Pb(SPOSITO, 2008), corroborando com os valores encontrados. O Zn apresentou maior aumento nas concentrações no sedimento conforme o curso d'água avança para a foz, apresentando uma correlação (R^2 0,85) com a distância entre a nascente e a foz (Figura 3.6 e 3.7). O zinco foi um dos metais com tendência de poluição na foz do arroio Dilúvio com o Lago Guaíba, exibindo valor médio de 132 mg kg^{-1} , o qual está acima do valor de orientação do CONAMA resolução 454/12 que é de 123 mg kg^{-1} (ANDRADE et al., 2019), confirmando o transporte de metais do Arroio Dilúvio para o Lago Guaíba.

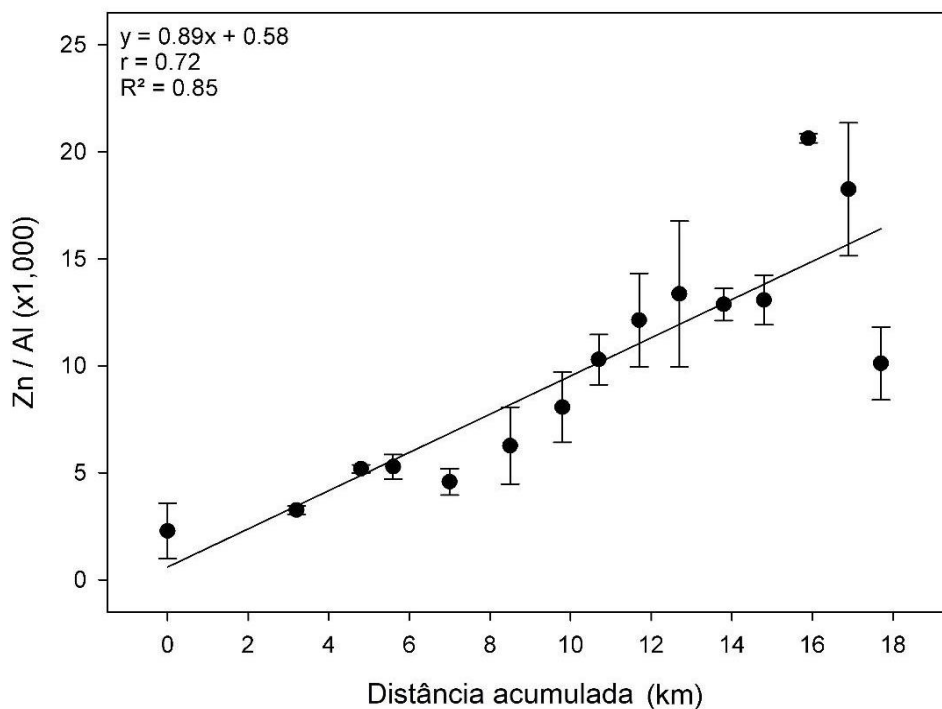


Figura 0.6: Concentração de Zn nos pontos analisados do Arroio Dilúvio.

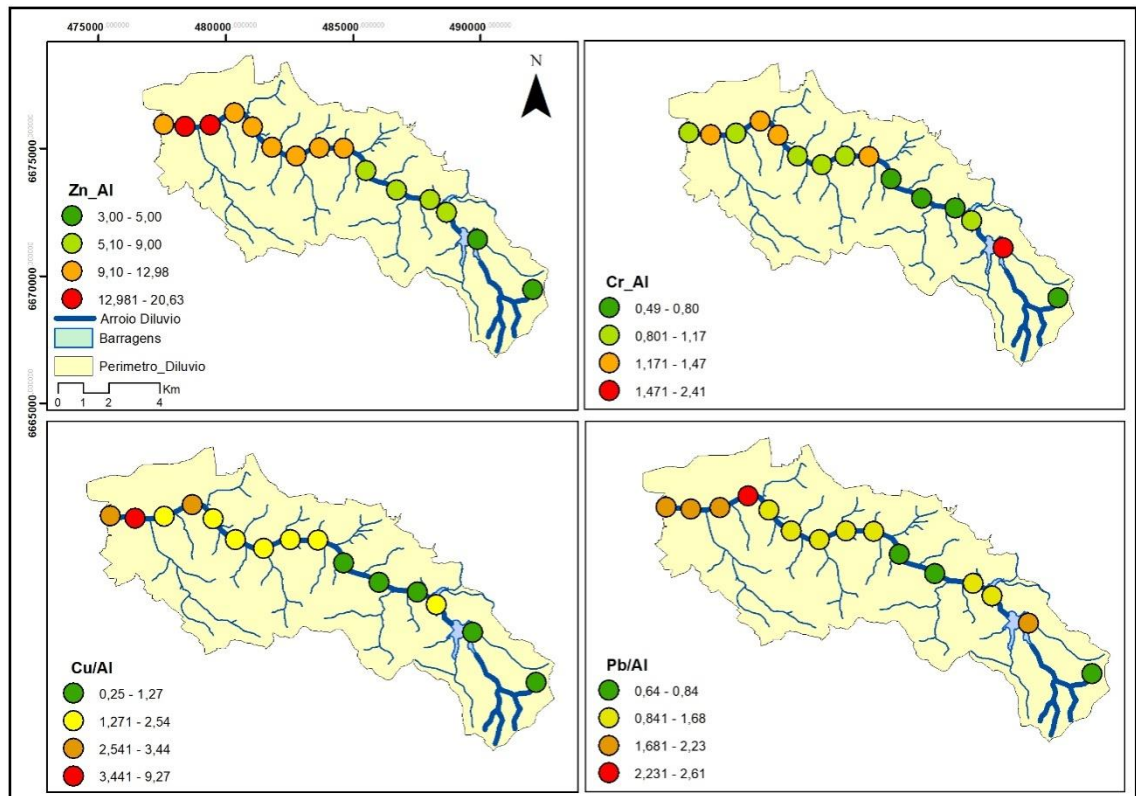


Figura 0.7: Concentrações de Zn, Cr, Cu e Pb padronizados por Al nos pontos amostrais ao longo de todo percurso do Arroio Dilúvio, Sul do Brasil.

O cádmio é um dos metais com maior toxicidade ($0,25\mu\text{g L}^{-1}$) (USEPA, 2019), no presente estudo não foram encontrados valores acima dos valores de referência ($0,6\text{ mg kg}^{-1}$) estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 454 (BRASIL, 2012), e apenas no ponto AD06 foi encontrado valor ($0,32\text{ mg kg}^{-1}$) acima da média dos valores encontrados no Lago Guaíba ($0,3\text{ mg kg}^{-1}$) por Andrade et al. (2019). Os sedimentos do arroio Dilúvio são mais arenosos que o do Lago Guaíba, o que justifica serem encontrados valores maiores nos sedimentos do Lago. Costa e Hartz (2009) encontraram valores de Cd 15 vezes maiores em peixes do que nos sedimentos no Lago Guaíba. Os riscos de biomagnificação desse elemento é preocupante, pois mesmo que não tenha apresentado valores grandes, podem ainda assim causar danos.

Os sedimentos depositados em ruas urbanas têm grande potencial de poluição por se originarem de emissões e desgaste de veículos, materiais de revestimento das vias, deposições atmosféricas, entre outros, sendo os metais Cu, Zn e Pb os mais encontrados nos drenos urbanos (MARTÍNEZ; POLETO, 2014; SHARLEY et al., 2016b; TAYLOR; OWENS, 2009).

Essas afirmações corroboram os resultados deste estudo, pois o Arroio apresenta em suas imediações um trânsito intenso com milhares de carro se deslocando, liberando poeiras de desgaste das vias e de peças automotivas. O Arroio Dilúvio é margeado por uma das principais vias de Porto Alegre (Av. Ipiranga), por onde fluem milhares de carros diariamente a menos de 10 m do curso d'água. Este problema se soma a ausência de mata ciliar e à canalização do arroio em todo o trajeto desta avenida onde a drenagem das ruas cai diretamente em seu canal sem qualquer filtragem ou tratamento.

5. Conclusão

Houve um aumento nos teores de metais nos sedimentos do Arroio Dilúvio ao longo de suas margens até sua foz, mostrando ser um contribuinte para os teores de metais encontrados no manancial de água da cidade de Porto Alegre, o Lago Guaíba.

Contribuem para a degradação do Arroio Dilúvio o aumento da área impermeabilizada, a falta de arborização nas margens, o grande fluxo de veículos e os diversos usos e ocupações do solo variadas próximo ao seu curso. Os valores de fósforo e nitrogênio e carbono expõem a provável carga de esgoto doméstico recebida pelo arroio, adsorvendo poluentes de grande relevância como os metais potencialmente tóxicos.

As ações mitigadoras (projetos de “despoluição”) que vem sendo feitas não são mais suficientes, devendo melhorar os serviços de saneamento básico, mobilidade urbana e educação ambiental.

CAPÍTULO 4 - Potencial de fitoextração de metais potencialmente tóxicos por plantas espontâneas nas barras de sedimentos da parte canalizada do arroio Dilúvio, Porto Alegre – Sul do Brasil

1. Introdução

As áreas planas próximas aos cursos d'água foram as primeiras a serem civilizadas, devido à dependência humana de água e aos diversos usos da mesma (GIL, 2017). Atividades antrópicas - como agricultura, urbanização e industrialização - em uma bacia hidrográfica levam à sua degradação ambiental.

Bacias hidrográficas urbanas são intensamente impactadas pelo adensamento populacional, devido a impermeabilização do solo, supressão da vegetação ciliar, moradias irregulares, canalização e retificação dos cursos hídricos, entre outros. Os cursos d'água passam a ser simples componentes da drenagem e perdem suas características naturais; alteram-se significativamente os processos erosivos e a drenagem pluvial e, conseqüentemente, a dinâmica fluvial (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; TUCCI, 2012).

A poluição por substâncias diversas lançadas em suas águas é um dos principais problemas que afeta os recursos hídricos de um centro urbano. Metais potencialmente tóxicos - provenientes de esgotos domésticos e efluentes industriais, poeiras de ruas e estradas, resíduos sólidos urbanos, lixiviação de depósitos de minérios e deposição atmosférica - causam inquietação pela nocividade ao ser humano, já que são de natureza não biodegradável e se acumulam em organismos (PATIDAR et al., 2017). Muitos desses metais são essenciais para os organismos, mas quando em excesso, se tornam prejudiciais à saúde humana e aquática. A descontaminação de

áreas poluídas é, portanto, requisito para a qualidade ambiental e segurança sanitária da população (ALI; KHAN; SAJAD, 2013; DEMARCO et al., 2018; SHARLEY et al., 2016a).

Fitorremediação designa um conjunto de técnicas promissoras que utilizam plantas para descontaminação de ambientes poluídos por várias substâncias tóxicas em solos, água e sedimentos (LEGUIZAMO et al., 2017). É uma tecnologia em desenvolvimento na biorremediação com a melhor relação custo-benefício para a remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos da água, é uma técnica natural, ecologicamente correta e que pode ser aplicada *in situ*. Trata-se do mecanismo utilizado pela própria planta para a remoção desses poluentes, que pode se dar por fitoextração, rizofiltração, fitoacumulação e fitovolatilização (DEMARCO et al., 2018; LOPES; DUARTE, 2017).

O Arroio Dilúvio é poluído por ocupações sem planejamento em sua bacia hidrográfica, despejos de esgotos domésticos não tratados, grande fluxo de automóveis em suas margens e inexistência de mata ciliar. A maior densidade urbana no terço final de seu curso principal altera negativamente a drenagem da bacia, transporta os poluentes depositados nas ruas, aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial hídrico. Muitos materiais particulados são transportados pela água para o curso fluvial do arroio, acarretando o assoreamento do seu canal e a perda da qualidade de suas águas.

Os 12 km finais do Arroio Dilúvio têm seu curso canalizado e retificado, com barras de sedimentos formadas sempre na parte interna das curvas do canal, que acabam sendo vegetadas por plantas espontâneas devido à falta de dragagem. As intervenções antrópicas em seu curso foram feitas porque seu terço final está associado às inundações periódicas que dificultavam a expansão urbana para as regiões sul da cidade. Com o desenvolvimento urbano no entorno do arroio, que levou à abertura de áreas e impermeabilização do solo, seu fluxo hídrico foi alterado e, conseqüentemente, iniciou-se acúmulo de sedimentos no leito do canal (FUJIMOTO, 2004; MOG et al. 2014).

O objetivo deste estudo foi avaliar os teores de metais nos sedimentos e nas plantas espontâneas nestas barras formadas no leito canalizado e o potencial de fitorremediação destas plantas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

O arroio Dilúvio flui na cidade de Porto Alegre, RS, Brasil (Figura 4.1). Sua bacia hidrográfica tem 83,74 km² de área e seu curso principal percorre 17,6 km desde sua nascente mais distante até a sua foz no Lago Guaíba. Nos últimos 12 km do curso principal, o arroio é canalizado e retificado, iniciando antes do cruzamento da Av. Antônio de Carvalho com a Av. Ipiranga (30° 4' 8,1"S; 51° 8' 50,53" O) e finalizando poucos metros antes da sua foz (30° 2' 51,67" S; 51° 13' 45,31" O). Atualmente, a área de sua bacia é a mais densamente habitada no Estado, com 5.300 hab/km².



Figura 0.1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio e pontos de coleta das amostras.

2.2 Coleta, preparo e análise das amostras

A parte canalizada do Arroio Dilúvio passou 19 meses sem ser dragada (2017/2018). Isso favoreceu o estabelecimento de vegetação bem desenvolvidas nas barras de sedimentos formadas naturalmente. As amostras foram coletadas em março de 2018, em cinco pontos com distâncias similares

que apresentavam barras de sedimentos consolidados com vegetação (Tabela 4.1), porém entre os pontos 3 e 4 não houveram presença de barras de sedimentos. Com auxílio de uma pá de corte foram coletadas quatro amostras, não compostas, de sedimentos (0-20 cm) e quatro de plantas inteiras (raiz e parte aérea) por barra de sedimentos (Figura 4.2). Todos os equipamentos utilizados no processo de coleta e análise foram devidamente descontaminados com solução de ácido clorídrico.



Figura 0.2: Coletas das amostras de sedimentos e plantas espontâneas nas barras de sedimentos formadas na parte canalizada do arroio Dilúvio.

Os sedimentos foram acondicionados em potes de polietileno e transportados em caixas térmicas com gelo até o laboratório, onde foram armazenados a uma temperatura de -2°C até o início das análises. Posteriormente, as amostras foram secas a 45°C e, então, o sedimento foi peneirado a 2 mm para as análises laboratoriais.

As amostras das plantas foram colhidas com a cautela de se retirar a planta inteira sem perder material. Estas amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório, onde foram lavadas com

água corrente e enxaguadas com água destilada para remover qualquer partícula de sedimento fixada na superfície da planta e das raízes. Foram segregadas em parte aérea e sistema radicular, sendo essas acondicionadas separadamente em sacos de papel e secas em estufa de ar com circulação forçada à temperatura entre 60 a 65°C por 48 horas ou até não haver mais variação de peso entre as amostras.

As plantas coletadas foram identificadas visualmente com o cuidado de serem similares e predominantes em cada ilha. Não foi encontrada a mesma espécie em todos os pontos, mesmo em pequena quantidade de indivíduos, devido a isso foi coletado espécies semelhantes e de mesma família. Em laboratório foi utilizado o guia de morfologia e taxonomia de gramíneas sul-rio-grandense (BOLDRINI et al., 2008) para identificação correta das espécies. Estas pertenciam às espécies: *Brachiaria sp.*, *Sorghum sp.* e *Echinochloa sp.* As amostras secas dos tecidos foram moídas, com o auxílio de moinhos de lâminas, para a determinação dos teores dos metais via digestão ácida nitro-perclórico 3:1 (HNO₃ – HClO₄) por via úmida (sistema aberto).

Tabela0.1: Pontos de coleta dos sedimentos e plantas nas barras de sedimentos da parte canalizada do Arroio Diluvio, Porto Alegre – RS.

Código	Referência¹	Distância² km	Coordenadas
BS1	Av. Antônio de Carvalho	0,0	30° 03' 44.11"S 51° 09' 30.81"O 30° 03' 21.59"S
BS2	CEEE-RS	1,4	51° 09' 33.20"O 30° 03' 21.24"S
BS3	PUC/RS	2,8	51°10' 18.24"O 30° 02' 36.88"S
BS4	Zaffari Ipiranga	6,2	51°12' 01.71"O 30° 02' 51.00"S
BS5	Av. Azenha	7,6	51°12' 48.50"O

¹ Referência de proximidade; ² Distância acumulada a partir do primeiro ponto coletado

Nos sedimentos, os teores pseudototais dos metais (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb e Cd) foram obtidos de acordo com a metodologia EPA 3050B (USEPA, 1996). Os elementos nos extratos foram quantificados por espectrômetro de

emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES; PerkinElmer®Optima™ 8300), utilizando padrões internos para controle e verificação com limites de detecção (LD) de: Zn - 2,0; Pb - 2,0; Cu - 0,6; Cr - 0,4; Ni - 0,4; Cd - 0,2 µg / g).

O fator de bioacumulação (BCF) expressa a capacidade de uma planta de acumular metais pesados presentes na água, solo ou sedimento (equação 1). O fator de translocação (TF) apresenta a capacidade da planta de deslocar os metais absorvidos pelas raízes para sua parte aérea (equação 2). Estes fatores foram calculados conforme as equações descritas por Yoon et al. (2006) que segue abaixo:

$$BCF = \frac{[metal]_{raiz}}{[metal]_{sedimento}} \quad (1)$$

$$TF = \frac{[metal]_{parte\ aérea}}{[metal]_{raiz}} \quad (2)$$

Onde: “[metal]” se refere à concentração do elemento no sistema radicular e parte aérea das plantas, e nos sedimentos (mg kg⁻¹).

As médias foram avaliadas por teste de variância e o coeficiente de correlação do produto de Pearson (*r*) foi usado para apresentar as associações das variáveis quantitativas entre a concentração de metais e a distância entre os pontos.

3. Resultados

As barras de sedimentos da parte canalizada apresentaram valores crescentes da montante à jusante do canal nas concentrações de Zn, Cu, Pb e Cd, (*r* > 0,9). Já os metais Cr e Ni tiveram seus valores aproximadamente estáveis na barra de sedimento central (BS3) até o último ponto do trajeto (Fig.1; Tab 2).

Tabela0.2: Concentrações de metais pesados nas barras de sedimentos analisadas do Arroio Dilúvio

Pontos	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd
..... mg kg ⁻¹						
BS1	97,5	48,0	12,6	7,0	26,0	0,22
BS2	144,9	57,9	22,1	10,2	36,3	0,46
BS3	200,3	69,2	33,3	18,9	41,0	0,58
BS4	301,4	168,2	28,1	16,2	63,4	0,83
BS5	338,1	202,1	26,5	16,1	64,1	0,77
M ± EP ¹	216±20	109±14	24,5±1,6	13,6±1,0	46,2±3,4	0,6±0,0
CV % ²	47,1	64,98	31,7	35,9	36,7	42,6
r ³	0,99	0,98	0,58	0,69	0,98	0,94

1 M ± EP: média ± erro padrão; CV%2 = coeficiente de variância; r 3 = coeficiente de correlação de Pearson entre os metais e a distância acumulada entre os pontos.

As espécies estudadas foram detectadas nos seguintes pontos: em BS1 e BS2, a *Brachiaria sp.* preponderava, então essas foram analisadas nesses pontos; em BS3, a espécie *Sorghum sp.* era a mais abundante no ponto; e nos pontos BS4 e BS5, a *Echinochloa sp.* apresentou maior predominância. Todas elas apresentaram maiores concentrações de metais em suas raízes do que em sua parte aérea (Tabela 4.3).

Tabela 0.3: Concentração de metais pesados na parte aérea das plantas e em suas raízes.

Pontos	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd
 mg kg ⁻¹					
Parte aérea						
BS1-S	62,3	8,1	3,1	5,1	7,3	<LD
BS2-S	62,7	5,4	1,7	3,2	5,2	<LD
BS3-S	58,1	11,1	1,7	3,4	7,4	<LD
BS4-S	203,1	15,6	5,6	6,6	9,6	<LD
BS5-S	253,2	22,5	8,4	7,3	12,2	0,24
Raízes						
BS1-R	261	57,1	32,9	16,1	27,6	1,5
BS2-R	159	31,1	15,2	15,8	13,5	0,4
BS3-R	146	34,8	13,8	16,8	13,2	0,3
BS4-R	382	84,6	29,6	21,2	28,0	1,3
BS5-R	422	67,7	16,5	18,5	30,7	1,4

O fator de translocação (TF) em todos os pontos e para todos os metais foi <1; ou seja, não havia translocação significativa dos metais para a parte aérea das plantas, tendência à retenção nas raízes. Já o valor de Bioacumulação (BCF) variou entre os metais e entre os pontos coletados: o Zn teve 4 pontos com BCF >1, e apenas 1 ponto <1 (0,7) - o BS3; em BS1, o BCF foi maior do que 1 para todos os metais, sendo o maior valor para Cd (6,9); e em BS3, onde foram coletadas plantas da espécie *Sorghum sp.*, os valores de BCF e de TF foram menores que 1 (Tabela 4.4).

Os valores de TF encontrados indicam que as espécies analisadas tendem a manter os elementos em seu sistema radicular, com capacidade de rizofiltração e não defitoextração. Os valores de BCF encontrados indicam que a espécie *Brachiaria sp.* é mais propensa à fitorremediação, já as espécies *Echinochloa sp.* (com BCF pouco acima de 1 para o Zn, Ni; e Cd) e *Sorghum sp.* se mostraram menos apta à fitorremediação. A avaliação de espécies naturalmente estabelecidas em locais contaminados é fortemente recomendada para selecionar espécies indicadas à utilização na biorremediação local (DEMARCO et al., 2018).

Tabela 0.4: Fator de Acumulação e Translocação de metais pesados nas plantas coletadas nas barras de sedimento do Arroio Dilúvio.

Espécies	Pontos	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd
Fator de Translocação(TF)							
<i>Brachiariasp.</i>	BS1-S	0,24	0,14	0,09	0,32	0,26	-
<i>Brachiaria sp.</i>	BS2-S	0,39	0,17	0,11	0,20	0,38	-
<i>Sorghum sp.</i>	BS3-S	0,40	0,32	0,12	0,20	0,56	-
<i>Echinochloa sp.</i>	BS4-S	0,53	0,18	0,19	0,31	0,34	-
<i>Echinochloa sp.</i>	BS5-S	0,60	0,33	0,51	0,39	0,40	0,17
Fator de Bioacumulação(BCF)							
<i>Brachiaria sp.</i>	BS1-R	2,7	1,2	2,6	2,3	1,1	6,9
<i>Brachiaria sp.</i>	BS2-R	1,1	0,5	0,7	1,6	0,4	0,9
<i>Sorghum sp.</i>	BS3-R	0,7	0,5	0,4	0,9	0,3	0,4
<i>Echinochloa sp.</i>	BS4-R	1,3	0,5	1,1	1,3	0,4	1,5
<i>Echinochloa sp.</i>	BS5-R	1,2	0,3	0,6	1,2	0,5	1,8

4. Discussão

4.1 Concentrações de metais nos sedimentos

A bacia do Arroio Dilúvio tem a região de sua parte canalizada muito impermeabilizada. Quando há intensa precipitação, ocorre o deslocamento de volumoso material sólido para o seu curso fluvial e criam-se barras de sedimentos com formas deposicionais heterogêneas (BASSO et al., 2011). Somam-se a estas deposições dos sedimentos os elementos orgânicos e inorgânicos derivados das redes pluvial e de esgoto que são lançadas diretamente no canal do Arroio Dilúvio. Estes nutrientes (C, N, P) favorecem o crescimento de vegetação, principalmente nas épocas de estiagem, os quais, possivelmente, se encontram em maior concentração.

As barras de sedimentos que se encontram na parte canalizada do Arroio Dilúvio demonstram a ineficiência do sistema de drenagem urbano e do saneamento básico da cidade. Elas funcionam como barreiras de acúmulo de lixo de toda a sorte gerado pela atividade antrópica na bacia, e acúmulo de poluentes invisíveis ao olho nu, como os metais pesados.

As concentrações de metais potencialmente tóxicos nos sedimentos das barras analisadas foram em geral crescentes conforme a proximidade da foz (Figura 4.3), como confirmam os valores de $(r) >0,57$, $>0,68$ e $>0,93$. É provável que a presença de metais seja proveniente das mesmas origens das substâncias orgânicas e, também, ao carregamento de particulados das vias movimentadas da Av. Ipiranga que margeiam todo o canal; o desgaste de freios e de pneus dos veículos, o desgaste da manta asfáltica e a queima de combustível avolumam significativamente os metais no curso d'água (TAYLOR; OWENS, 2009; TUCCI, 2012; ZHANG et al., 2016).

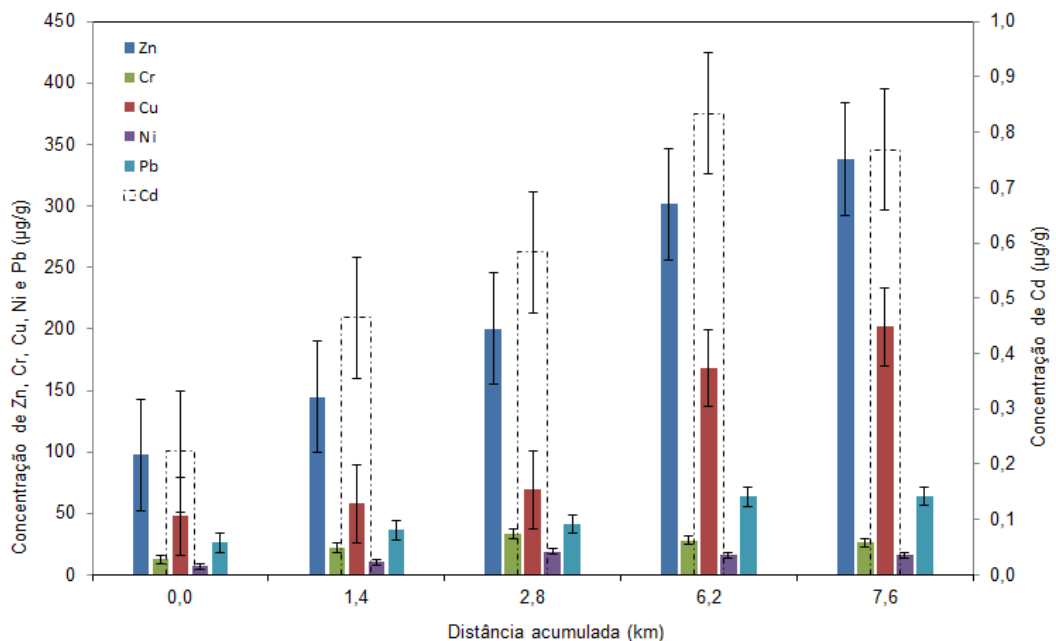


Figura0.3: Teores de metais pesados nos sedimentos analisados das barras de sedimentos formados na canalização do arroio Dilúvio.

4.2 Potencial de fitorremediação das plantas

A fitorremediação se define como um conjunto de técnicas que exploram as interações entre organismos encontrados nos sistemas radiculares das plantas e os diferentes tipos de contaminantes, tendo como resultado dessa interação a remoção, redução ou imobilização de contaminantes presentes no solo, na água e no ar (MENDES, 2018).

A fitoextração é uma das técnicas que se destaca na fitorremediação, e consiste em utilizar plantas com capacidade de acumular nos seus tecidos contaminantes extraídos do solo, água ou do ar, mas sem haver degradação do mesmo (LIMA et al., 2013; MEJIA et al., 2014).

A rizofiltração é uma técnica utilizada para adsorção e precipitação de contaminantes no sistema radicular de plantas quando se encontram e meio aquático. É uma técnica adequada para a separar metais em águas através da retenção e imobilização destes contaminantes no sistema radicular das plantas (MEJIA et al., 2014; MENDES, 2018).

Uma das principais funções do arroio Dilúvio é ser o canal principal de macrodrenagem da parte mais adensada da cidade. As barras de sedimentos formadas no leito do arroio têm características arenosa, porém com o lançamento de esgoto no leito do canal, o qual é fonte de macronutrientes, possibilitando o crescimento de vegetação nessas barras. Essa vegetação em seu leito dificulta a drenagem, pois se torna uma barreira para o fluxo fluvial diminuindo a capacidade da macrodrenagem quando há grande volume de precipitação na bacia hidrográfica, podendo haver transbordamento do canal e ocasionar inundações das vias que margeiam o Arroio.

O arroio Dilúvio antes de ser um sistema de macrodrenagem da cidade é um ecossistema aquático natural, e essa vegetação que se desenvolve nas barras de sedimentos serve de refúgio e alimentação para a biota (ave, tartarugas, peixes, entre outros). Além disso tem grande importância na fitorremediação *in situ*, amortecendo o impacto ocasionado pelas atividades antrópicas em sua bacia hidrográfica.

Os pontos BS1 e BS2 tinham suas barras de sedimentos mais altas em relação à lâmina de água (sedimentos mais secos) e se localizavam às margens do canal; nestes pontos, foram identificadas plantas da espécie *Brachiaria sp.* O ponto BS3 tinha a barra de sedimento no meio do canal, era mais extensa e apresentava alguns pontos de água empoçada; nele, foram encontradas plantas da espécie de *Sorghum sp.* Já os pontos BS4 e BS5 tinham suas barras de sedimento cobertas com uma fina lâmina de água (1 cm) e plantas da espécie *Echinochloa sp.* desenvolvidas.

Plantas com BCF e TF >1 apresentam maior potencial na utilização de fitoextração e rizofiltração de poluentes em um ambiente contaminado, pois as plantas bioconcentram elementos em suas raízes ou translocam para suas partes aéreas (DEMARCO et al., 2018; YOON et al., 2006). Neste estudo, a *Brachiaria sp.* apresentou alto potencial de BCF no ponto BS1 para todos os metais analisados; o maior potencial foi para Cd (6,9) no ponto BS2, mas

também merecem destaques os valores de BCF para Zn (1,1) e Ni (1,6), mesmo não sendo tão eficazes.

Martinez et al. (2014) mostraram que, em solos contaminados por metais pesados, a *Brachiaria* apresentou capacidade de extração de Zn (80%) e Ni (88%) suficientemente relevantes para utilização na técnica de fitorremediação. Os valores encontrados neste estudo concordam com esta constatação, principalmente no ponto BS2. Porém, o estudo de Martinez et al. (2014) não obteve o mesmo êxito com a absorção de Cd.

No ponto BS3 foram encontradas apenas plantas da espécie *Sorghum sp.*, que não se mostrou apta para fitorremediação. Nem mesmo a rizoextração (absorção e acumulação de contaminantes nas raízes das plantas) parece viável nesta espécie pois os valores de BCF e TF foram <1 ; as concentrações de metais pesado no sedimento do ponto BS3 foram maiores que em BS1 e BS2 e, mesmo assim, as plantas de *Sorghum* apresentaram menores valores de metais em suas partes que a plantas encontradas em BS1 e BS2.

A espécie *Echinochloa* possui amplo sistema radicular, grande porcentagem de aerênquima, significativa densidade estomática e produção de biomassa, sendo promissora para o uso na fitorremediação (BERNARDINO et al., 2016). No presente estudo, a espécie apresentou valores de BCF >1 em dois pontos (BS4 e BS5) para alguns Zn (1,3 e 1,2), Ni (1,3 e 1,2) e Cd (1,5 e 1,8); este fato faz dessa espécie uma planta propícia para a técnica de fitorremediação, principalmente para contaminação por Cd, que é um metal altamente tóxico.

De acordo com Demarco et al. (2018) plantas que apresentam alto valor de BCF e baixo de TF são adequadas para fitoestabilização e não para fitoextração. Os valores encontrados neste estudo, mostraram valores >1 nos cálculos de BCF para as espécies *Brachiariae Echinochloa*, e <1 quando calculado o TF, assim a rizofiltração é a técnica mais adequada para essas espécies, plantas que apresentaram maior quantidade de metais pesados em suas raízes.

Estudo analisando o potencial fitorremediador da espécie *Brachiaria* em solos contaminados com metais mostrou que a espécie é eficiente fitorremediação, principalmente dos metais Zn, Cr e Ni (MARTINEZ et al.,

2013). Esse resultado confirma o potencial fitorremediador da espécie encontrado neste estudo.

A planta do gênero *Echinocloa* apresentou 43% de eficiência no tratamento de Zn em estudo e valores altos de Cd ($3,58 \mu\text{g g}^{-1}$) nas raízes em áreas alagadas de aterro sanitário (AMORIM et al., 2018). Segundo os autores o alto valor de Cd encontrado se deve por ser tratar de uma espécie hiperacumuladora de Cd. Esses valores encontrados foram maiores que encontrados no presente estudo. No entanto, vale lembrar que as atuais pesquisas, em maioria são limitadas a estudos em ambientes controlados, não havendo variações dos diferentes fatores que interferem no ciclo da planta. Mesmo assim, os resultados desses estudos corroboram com os valores encontrados neste trabalho em que o BCF foi >1 para Zn e Cd.

Muitos fatores interferem na fitorremediação *in situ*, com destaque para a distribuição desigual de contaminantes (ALI et al., 2013). Das três espécies analisadas, duas mostraram potencial fitorremediador, mas plantas com maior potencial para a técnica de fitorremediação já estudadas e que, além de terem esse potencial, sejam ornamentais e se adaptam ao local podem ser utilizadas para maior amortecimento dos contaminantes que são destinados, sem interferência, às águas do Lago Guaíba, manancial de captação para o abastecimento da cidade de Porto Alegre.

5. Conclusão

Algumas espécies da vegetação presente nas barras de sedimentos atuam como fitorremediadoras por acumularem metais pesados em suas raízes. Filtrando contaminantes que seriam transportados para o Lago Guaíba. Deste modo, técnicas de fitorremediação são boas alternativas ao amortecimento de poluentes em cursos de água, sendo uma opção de baixo custo para a diminuição de poluentes destinados ao Arroio Dilúvio, afluente do Lago Guaíba. A avaliação de outras espécies naturalmente presentes no canal do arroio Dilúvio é fortemente recomendada para selecionar espécies com maior potencial fitorremediador para o uso no amortecimento da contaminação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação do Arroio Dilúvio é decorrente da drenagem urbana de uma bacia hidrográfica com grande impermeabilização do solo, falta de arborização de suas margens, do grande fluxo de veículos automotivos em seu entorno e principalmente da falta de saneamento adequado que não acompanhou o crescimento urbano da região. Os valores encontrados de fósforo, carbono e nitrogênio nos sedimentos evidenciam uma provável carga de esgotos domésticos lançados em seu canal.

Os sedimentos do Arroio Dilúvio apresentam diferenças físico-química devido a ocupação e uso do solo de sua bacia. As concentrações de metais nos sedimentos foram diferentes entre os dois estudos, mostrando que nas barras de sedimentos tendem a se concentrar mais metais do que nos sedimentos de fundo.

As nascentes do Arroio Dilúvio se encontram em locais de menor densidade populacional e apresentam fragmentos de mata em seu entorno, porém conforme seu curso avança para foz, há um aumento da urbanização e ausência de vegetação em suas margens. Em função disso, é evidenciado um aumento nos teores de metais conforme o arroio avança a sua foz.

Duas das três plantas espontâneas identificadas e analisadas no terço final do arroio Dilúvio, expressaram potencial fitorremediador para o amortecimento da carga de metais potencialmente tóxicos. A fitorremediação é uma alternativa para a mitigação de poluentes, sendo uma possibilidade de baixo custo para a diminuição de poluentes presentes no arroio Dilúvio, e que teriam o Lago Guaíba como destino final

As ações mitigadoras que vem sendo feitas não são eficientes para ao longo do tempo, devendo aprimorar os serviços de saneamento básico, mobilidade urbana e educação ambiental. A melhoria da qualidade ambiental

do arroio Dilúvio teria impacto direto nas vidas da população, trazendo benefícios em todos os pilares: saúde, economia e educação.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181- Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ACIOLE, L. A. *et al.* Implantação de um módulo experimental para análise da eficiência de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial na fonte. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 15., 2003, Curitiba. [**Trabalhos apresentados**]. Porto Alegre: ABRH, 2003. Disponível em: http://www.ufrgs.br/arriodiluvio/conteudo-antigo/copy_of_sobre-o-arroio-diluvio/implantacao.pdf. Acesso em: 7 fev. 2019.

AGUIAR NETO, A. B.; GOMES, D. F.; FREIRE, G. S. S. Origem da deposição de matéria orgânica em sedimentos de manguezal na porção nordeste da Baía de Todos os Santos, Bahia. **Geologia**, Fortaleza, v. 25, n. 1, p. 7-17, 2012.

ALEXANDRE, M. R.; HUANG, Y.; MADUREIRA, L. A. S. Avaliação de compostos orgânicos em sedimentos superficiais da Baía de Babitonga. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 208-218, 2006.

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. **Chemosphere**, Oxford, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.

ALVES, C. A. **Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2004. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

AMORIM, A. M. P. B. *et al.* Eficiência de um sistema piloto utilizando áreas alagadas no pós-tratamento do lixiviado gerado no aterro sanitário de Curitiba, Curitiba, Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 535-542, jun. 2018.

ANDRADE, L. C. *et al.* Sediment pollution in margins of the Lake Guaíba, Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 190, n. 1, [art.] 3, 2018.

ANDRADE, L. C. *et al.* Sediment pollution in an urban water supply lake in southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 191, n. 1, [art.] 12, jan. 2019.

BASSO, L. A.; MOREIRA, L. G. R.; PIZZATO, F. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. **Geosul**, Florianópolis, v. 26, n. 52, p. 145-163, 2011.

BERNARDINO, C. A. R. *et al.* State of the art of phytoremediation in Brazil: review and perspectives. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 227, n. 8, p. 272, ago. 2016.

BOLDRINI, I. L.; LONGH-WAGNER, H. M.; BOECHAT, S. DE C. **Morfologia e taxonomia de gramíneas sul-rio-grandenses**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 nov. 2012. Seção 1, p. 66.

BURIN, C. W. **O caso da canalização do arroio Dilúvio em Porto Alegre: ambiente projetado x ambiente construído**. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CABETTE, A.; STROHAECKER, M. Porto Alegre: uma análise da nova estrutura etária e a configuração do espaço urbano. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Porto Alegre, v. 1, p. 94-107, 2014.

CALESSO, M. Total de resíduos retirados do Dilúvio em dragagens chega a quase 20 mil toneladas. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 13 fev. 2019.

Disponível em:

https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/geral/2019/02/670137-total-de-residuos-retirados-do-diluvio-em-dragagens-chega-a-quase-20-mil-toneladas.html. Acesso em: 9 mar. 2019.

CARDOSO, A. R. **Evolução urbana e o enriquecimento de sedimentos por metais-traço na barragem Mãe d'Água, sub-bacia do Arroio Dilúvio, RMPA/RS**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

COSTA, P. R.; SILVEIRA, A. L. R. Drenagem urbana e os impactos decorrentes do processo de urbanização na bacia do córrego Mingau, Goiânia, GO. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, Goiânia, v. 11, n. 11, p. 76–100, 2017.

COSTA, S. C.; HARTZ, S. M. Evaluation of trace metals (cadmium, chromium, copper and zinc) in tissues of a commercially important fish (*Leporinus obtusidens*) from Guaíba lake, southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 52, n. 1, p. 241-250, 2009.

DEMARCO, C. F. *et al.* In situ phytoremediation characterization of heavy metals promoted by *Hydrocotyle ranunculoides* at Santa Bárbara stream, an anthropogenic polluted site in southern of Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 25, n. 28, p. 28312-28321, 2018.

DEVOS, R. V.; PAULA, A.; SOARES, M. Habitantes do Arroio: memória ambiental das águas urbanas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 22, p. 51-64, jul./dez. 2010.

ECOBARREIRA Arroio Dilúvio. [Porto Alegre, 2019.] Disponível em: <https://www.facebook.com/ECobarreiraArroioDiluvio/>. Acesso em: 7 fev. 2019.

EOS. **5 consequências da falta de saneamento básico**. [2019]. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/5-consequencias-da-falta-de-saneamento-basico/>. Acesso em: 14 fev. 2019.

FERNANDES, F.; POLETO, C. Heavy metal concentrations and enrichment of sediment cores: correlation between geochemistry and geoaccumulation index. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RIVER SEDIMENTATION*, 13., 2016, Stuttgart. **Proceedings of the...** [S.l.]: ISRS, 2016. p. 854.

FERNANDES, M. O. S.; VIERA, V. Impactos ambientais urbanos: o caso do Arroio Poraima na cidade de Mata, RS. **Disciplinarum Scientia. Ciências Humanas**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-45, 2008.

FIA, R. *et al.* Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267-275, 2015.

FREITAS, C. **Caracterização ecológica da represa Mãe d'Água, Campus do Vale da UFRGS, Morro Santana, Porto Alegre - RS (Brasil)**. 2005. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Barigui na região metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2020-2026, 2008.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre - RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 12, p. 141-177, 2002.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Análise geomorfológica no estudo das alterações ambientais urbanas. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 4., 2002, São Luís. **Anais, programa e resumos**. São Luís: UFMA, 2002. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/4/1/82.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2019.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Observando os rios**. São Paulo, [2019]. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/projeto/observando-os-rios/>. Acesso em: 12 abr. 2019.

GELAIN, R. *et al.* Determinação da concentração de nutrientes e avaliação de suas possíveis fontes de aporte em sedimentos do Arroio Marrecas. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE*, 2., 2010, Bento Gonçalves. **Trabalhos técnicos**. Bento Gonçalves: Fundação PROAMB, 2010. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=104&ano=_segundo. Acesso em: 10 fev. 2019.

GIL, A. P. **Alterações no corredor fluvial do baixo curso do Rio Doce em 1987 e 2011 - Linhares, ES**. 2017. 91 f. Monografia (Bacharel em Geografia) - Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

GLAAS - GLOBAL ANALYSIS AND ASSESSMENT OF SANITATION. **Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities**. Geneva: WHO, 2015. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204281/WHO_FWC_WSH_15_08_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 2 jun. 2019.

ILIE, M. *et al.* Spatial distribution of heavy metal contamination in surface sediments from the Danube River. **International Journal of Environmental Science**, [Bulgária], v. 1, p. 230–237, 2016.

JATOBÁ, S. U. S. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, [Brasília, DF], n. 5, p. 141-148, jun. 2011.

JUNQUEIRA, I. C. **Morfometria comparativa de três arroios afluentes ao Lago Guaíba no município de Porto Alegre/RS/Brasil, com uso da tecnologia Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. [2007]. Disponível em: http://professor.ufrgs.br/sites/default/files/collischonn/files/artigo_isabel.pdf. Acesso em: 15 out. 2018.

JUVÊNCIO, I. A Bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 6–7, p. 87–95, 1958.

LEGUIZAMO, M. A. O.; FERNÁNDEZ GÓMEZ, W. D.; SARMIENTO, M. C. G. Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands: a review. **Chemosphere**, Oxford, v. 168, p. 1230-1247, 2017.

LIMA, G. M. *et al.* Estudo de fitorremediação de solos contaminados com cádmio e chumbo empregando plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2919-2929, 2013.

LOPES, A. E.; DUARTE, N. F. O tratamento de efluentes líquidos através de sistemas utilizando agentes de fitorremediação: uma revisão sistemática. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Palhoça, v. 6, n. 1, p. 432-441, 2017.

LOPEZ, R. S. Y. **Diagnóstico ambiental da sub-bacia do Arroio Moinho – Porto Alegre/RS: evolução urbana, dinâmica da paisagem e degradação ambiental**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MACIEL, J. B. Melhoramento de Porto Alegre. **Egatea**, Porto Alegre, v. 1, p. 124-128, 1914.

- MARTÍNEZ, L. L. G.; POLETO, C. Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (Igeo). **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 14, n. 7, p. 1251-1257, 2014.
- MARTINEZ, M. S.; CARDOSO, D. F. C.; MORAES, D. B. Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia. **Revista DAE**, São Paulo, n. 191, p. 30-37, 2013.
- MATER, L. *et al.* Assessment of lipid compounds and phosphorus in mangrove sediments of Santa Catarina Island, SC, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 15, n. 5, p. 725-734, 2004.
- MEDEIROS, P. S. C. **Pedogênese em topossequências graníticas no município de Porto Alegre**. 2014. 135 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- MEJIA, P. V. L. *et al.* Metodologia para seleção de técnica de fitorremediação em áreas contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 31, p. 97-104, 2014.
- MENDES, M. E. R. **A fitorremediação como estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana**. 2018. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
- MENEGAT, R. *et al.* (ed.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.
- MOG, W.; CAMPOS, H. A.; PICCININI, L. S. Análise morfológica de espaços urbanos em bacias hidrográficas: um olhar sobre o entorno do Arroio Dilúvio em Porto Alegre Conflitos entre água e espaço urbano no contexto das bacias hidrográficas. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 16, n. 31, p. 221-239, 2014.
- MORANDI, I. C.; FARIA, C. M. Difícil recuperação de arroios em áreas urbanas: Arroio Dilúvio. *In*: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. p. 1-14.
- MOREIRA, G. R. L. **Influência da precipitação no transporte de corpos d'água urbanos, Porto Alegre, Brasil**. 2010. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Hidrologia/24.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2019.
- OLIVEIRA, D.; MEDEIROS, A. Qualidade da água e identificação de bactérias gram-negativas isoladas do Arroio Dilúvio, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **Evidência**, Joaçaba, v. 12, N. 1, p. 51-62, 2012.
- OLIVEIRA, A. L.; SCHETTINI, E. B. C.; SILVEIRA, A. L. L. Estrutura para coleta de resíduos sólidos em arroio urbano. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS

HÍDRICOS DO SUL, 1., 2005, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: ABRH, 2005. p. 1-10.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. Trace metals dynamics in soil and estuarine sediment as a major factor controlling contaminants contribution to the aquatic environment: review. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 3, n. 2, p. 88-102, 2011.

ORLANDI FILHO, V.; GIUGNO, N. B. **Diagnostico setorial da região metropolitana de Porto Alegre - RS**. Porto Alegre: CPRM; METROPLAN, 1994.

ORTEGA, D. J. P.; CARVALHO, S. L. Avaliação dos efeitos das atividades antropóicas nos recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica do Córrego do Ipê-SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 97-108, 2013.

PATIDAR, K.; CHOUHAN, A.; THAKUR, L. S. Removal of heavy metals from water and waste water by electrocoagulation process: a review. **International Research Journal of Engineering and Technology**, Tamil Nadu, v. 4, n. 11, p. 16-25, 2017.

PEREIRA, A. R. *et al.* Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 239-246, dez. 2013.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. Urban watershed studies in Southern Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 70-78, 2007.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2017.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre**: manual de drenagem urbana. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. v. 6.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Parque natural municipal Saint' Hilaire**. Porto Alegre, [2019a]. Disponível em:
http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p_secao=157. Acesso em: 6 fev. 2019.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **[Informações obtidas da página]**. Porto Alegre, [2019b]. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=181. Acesso em: 11 fev. 2019.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Programa de revitalização da bacia do Arroio Dilúvio**. Porto Alegre, [2019c]. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?reg=1&p_secao=287. Acesso em: 11 de fev. 2019.

RANGEL, M. L. **A Percepção da água na paisagem urbana: bacia hidrográfica da Barragem Mãe D'água - Região Metropolitana de Porto Alegre/RS**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RELATÓRIO da Escola de Engenharia de Porto Alegre: referente ao ano de 1912. Porto Alegre: Escola de Engenharia de Porto Alegre, 1913.

RELATÓRIO da Escola de Engenharia de Porto Alegre: referente ao ano de 1913. Porto Alegre: Escola de Engenharia de Porto Alegre, 1914. 1 planta parcial da Escola Agrícola (sede do Instituto de Agronomia e Veterinária), p&b. Escala 1:2000.

ROCHA, P. Sem recursos, projeto de revitalização do Arroio Dilúvio está parado há mais de um ano. **GaúchaZH**, Porto Alegre, 21 abr. 2014. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2014/02/sem-recursos-projeto-de-revitalizacao-do-arroio-diluvio-esta-parado-ha-mais-de-um-ano-cj5vicpzg0cu3xbj0ywmtxyo0.html>. Acesso em: 7 fev. 2019.

ROSARIO, R. **Relatório mensal**. Destinatário: Jackson Lagoas. [S.l.], 7 fev. 2019. 1 mensagem eletrônica.

SANTOS, A. R. Revitalização para quem? Política urbana e gentrificação no centro de Santos. **Caderno Metropolitano**, São Paulo, v. 16, n. 32, p. 587-607, 2014.

SANTOS, J. W. M. C.; PESSI, D. D.; OLIVEIRA, S. M. L. Caracterização da flora arbórea na mata ciliar do Córrego Arareau no perímetro urbano de Rondonópolis (Mato Grosso). **Biodiversidade**, Rondonópolis, v. 17, n. 1, p. 127-142, abr. 2018.

SHARLEY, D. J. *et al.* Detecting long-term temporal trends in sediment-bound trace metals from urbanised catchments. **Environmental Pollution**, London, v. 219, p. 705-713, 2016.

SILVA, D. A. **Avaliação espaço-temporal da distribuição de fósforo na água e nos sedimentos de fundo das sub-bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço e em algumas baías do pantanal matogrossense**. 2014. 111 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2014.

SILVA, F. C. *et al.* Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. *In*: SILVA, F. C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009. p. 107-184.

SOARES, P. R. R.; FEDOZZI, L. J. Porto Alegre e sua região metropolitana no contexto das contradições da metropolização brasileira contemporânea. **Sociologias**, Porto Alegre, v. 18, n. 42, p. 162-197, 2016.

SODRZEIESKI, P. A. *et al.* Physico-chemical variability and heavy metal pollution of surface sediment in a non-channeled section of Dilúvio Stream (Southern Brazil) and the influence of channeled section in sediment pollution. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 14, n. 1, [art.] e-2285, 2019.

SOUZA, A. S. **Projeto Renascença**: um caso de gentrificação em Porto Alegre durante a década de 1970. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SOUZA, V. L. B. *et al.* Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, Recife, v. 3, n. 1A, p. 1-13, 2015.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2. ed. New York: Oxford, 2008.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Morfologia fluvial**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TAYLOR, K. G.; OWENS, P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 9, n. 4, p. 281-303, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. [Brasília, DF]: Ministério das Cidades, 2005. 270 p.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL; Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSAO, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais [...]**. [São Paulo]: ABGE, 1998. Disponível em: http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/conteudo-antigo/copy_of_sobre-o-arroio-diluvio/DRENAGEM_URBANA-CONTROLE_DA_EROSAO_TUCCI_COLLISCHONN.PDF. Acesso em: 6 fev. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

National recommended water quality criteria: aquatic life criteria table.

Washington, DC: USEPA, [2019]. Disponível em:

<https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table#d>. Acesso em: 12 jan. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

Method 3050B: acid digestion of sediments, sludges, and soils. Washington, DC: USEPA, Dec. 1996. 12 p.

YOON, J. *et al.* Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 368, n. 2/3, p. 456-464, set. 2006.

YOUNG, J. **Caracterização de areias de dragagem de arroio urbano para avaliação do seu potencial de uso como agregado miúdo em argamassas.** 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HANG, Z. *et al.* Heavy metals and metalloid contamination in Louisiana Lake Pontchartrain Estuary along I-10 Bridge. **Transportation Research. Part D, Transport and Environment**, Exeter, v. 44, p. 66-77, May 2016.

ZHAO, J. *et al.* Diversity change of microbial communities responding to zinc and arsenic pollution in a river of northeastern China. **Journal of Zhejiang University. Science. B.**, Hangzhou, v. 15, n. 7, p. 670-680, 2014.