



**A DIFÍCIL GESTÃO DE ARROIOS URBANOS:
Estarão mortos os arroios de Porto Alegre?
O caso do arroio Moinho.**

Porto Alegre, 2015.

Bruna Bonfim Rodrigues

**A DIFÍCIL GESTÃO DE ARROIOS URBANOS:
Estarão Mortos os Arroios de Porto Alegre?
O caso do arroio Moinho.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Rualdo Menegat
Profª. Drª. Maria Lídia Vignol

Porto Alegre, 2015.

Rodrigues, Bruna Bonfim

A DIFÍCIL GESTÃO DE ARROIOS URBANOS; ESTARÃO MORTOS OS ARROIOS DE PORTO ALEGRE? O caso do arroio Moinho / Bruna Bonfim Rodrigues. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.

[82 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador: Rualdo Menegat

Coorientador: Maria Lídia Medeiros Vignol Lelarge

1. Bacia do Lago Guaíba 2. Gestão ambiental 3. Qualidade da água e de sedimento de fundo 4. Vulnerabilidade socioambiental. I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado *A DIFÍCIL GESTÃO DE ARROIOS URBANOS: Estarão Mortos os Arroios de Porto Alegre? O caso do arroio Moinho*, de autoria de BRUNA BONFIM RODRIGUES, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dra. Ana Maria Xavier

Prof. Dr. Norberto Dani

Profa. Dra. Teresinha Guerra

Dedicatória

Dedico este trabalho aos geólogos e geólogas com o intuito de que sejam vigilantes com as questões ambientais e éticas que envolvem a importante profissão de cuidar da Terra, que é a geologia. Mesmo quando exploramos o planeta, devemos fazê-lo com um sentido de cuidado. Somente assim as gerações futuras poderão igualmente desfrutar dos materiais e paisagens terrestres que tanto nos inspiram.

Agradecimentos

A realização do presente trabalho não seria possível sem a colaboração de inúmeras pessoas, muitas delas anônimas. Contudo, cabe deixar registrado o agradecimento ao Instituto de Geociências e ao Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PBIC) que me proporcionou bolsas de estudo para a realização do presente trabalho.

Aos professores que colaboraram com a pesquisa, Profa. Dra. Ana Maria Mizusaki, na fase inicial da pesquisa proporcionou apoio para a análise da água. À Profa. Lídia Maria Vignol Lelarge, pela orientação do trabalho e pelo carinho.

Ao prof. Dr. Rualdo Menegat pelos anos de orientação, aprendizagem constante, por ensinar além da geologia, várias outras interfaces do conhecimento, por meio de interativas mesas redondas. Também pelo incentivo para perseverar em meu processo de formação em geologia e pela importância da ética no exercício profissional, que levarei por toda minha carreira.

A minha família, pelos ensinamentos e dedicação. Ao Anderson, pelo apoio e conhecimento compartilhado durante toda graduação, pelo companheirismo em toda busca empreendida nessa pesquisa.

Sem água uma cidade não pode existir. Sua busca em quantidade suficiente e de boa qualidade tanto para uso doméstico quanto industrial é um serviço público prioritário. De igual modo, a conservação e destinação sanitária da água servida – ou da água que foi simplesmente utilizada, mesmo que não seja esgoto – é também um serviço importante. Tanto a disponibilidade quanto a destinação da água são fortemente implicados com diversos aspectos da relação da água com a vida e a qualidade das cidades.

Robert E. Legget,
Cities and Geology, 1973, p. 175.

RESUMO

O problema da contaminação dos mananciais causado pela ocupação de áreas protegidas (Lei nº 12.651/2012) constitui um dos principais desafios da gestão ambiental no Brasil. Dele decorrem a deterioração das funções ecológicas de rios urbanos e da saúde pública, uma vez que a população habita nas suas margens. No caso de Porto Alegre, o crescimento populacional tem avançado em direção aos topos de morros da Crista de Porto Alegre, onde se situam afluentes do arroio Dilúvio. Em um desses afluentes, no Arroio Moinho, realizou-se uma série de diagnósticos que visam contribuir na proposição de um plano de gestão ambiental integrada (população, gestores e legislação) das margens protegidas. A microbacia do arroio Moinho localiza-se na encosta norte da porção central da Crista de Porto Alegre, abrangendo os bairros Partenon, São José, Aparício Borges e Vila João Pessoa. Para construir instrumentos de gestão integrada da microbacia, realizaram-se os seguintes diagnósticos: a) Mapa de uso e ocupação do solo das margens ribeirinhas; b) Mapa da qualidade da água do arroio; c) Avaliação da qualidade dos sedimentos de fundo do Arroio Moinho; d) Mapa da densidade populacional e mapa da tipologia de escoamento do esgoto doméstico com base no senso do IBGE de 2010. Os padrões de uso do solo das margens ribeirinhas foram obtidos por meio de informações espaciais de imagens de satélite e com a utilização do software ArcGIS. Para realizar os diagnósticos da qualidade da água foram realizadas coletas, em 2012, em 4 pontos de amostragem, e de sedimentos, em dois pontos, em 2014. A localização dos pontos foi escolhida de acordo com as regiões geomorfológicas e hidrográficas da microbacia. Os resultados das análises químicas da água demonstraram que todos os pontos amostrados estão fora de classe. O uso do solo das margens ocorre predominantemente por moradias unifamiliares, ocorrendo também importantes manchas verdes, as quais possibilitariam a implementação de parques lineares verdes. A integração dos diagnósticos possibilitou realizar um Mapa de Zoneamento e Proteção das Margens do Arroio Moinho, que se constitui em instrumento de gestão. Nele, quatro zonas foram definidas: I) zona de alto risco; II) zona de proteção da região de nascentes e de topos de morros; III) zona de amortecimento; IV) corredor verde - parque linear. O plano de gestão prevê, para cada zona, medidas específicas de recuperação da paisagem, padrões de uso das áreas marginais e saneamento, e técnicas socioeducativas de culturalização dos arroios por parte dos cidadãos.

Palavras Chave: Bacia do Lago Guaíba. Gestão ambiental. Qualidade da água e de sedimento. Vulnerabilidade socioambiental.

ABSTRACT

The problem of water sources contamination caused by the occupation of protected areas (Law Nº 12,651 / 2012) is one of the main challenges of environmental management in Brazil. It entails the deterioration of ecological functions of urban rivers and public health, since the population lives on its banks. In the case of Porto Alegre city, population growth has advanced towards the hilltops of Porto Alegre Crest, where are tributaries of the Dilúvio Brook. In one of these tributaries, the Moinho Brook, this work presents many diagnostic activities, contributing to the proposition of an integrated environmental management plan (population, managers and law) of protected margins. The watershed of the Moinho Brook is located on the northern slope of the central portion of the Porto Alegre Crest, including the Parthenon, São José, Aparício Borges and Vila João Pessoa neighborhoods. In order to elaborate an integrated management tool to the watershed, the following diagnoses were carried out: a) use and occupation of river banks; b) Map of stream water quality; c) Evaluation of the quality of bottom sediments of Moinho Brook; d) Map of population density and map of the sewage flow typology based on IBGE sense 2010. The patterns of land use of banks were obtained from space satellite images and using the software ArcGIS. To perform diagnostics of water quality, samples were collected in 2012 in four points, and for quality of bottom sediments at two points, in 2014. The location of the points was chosen according to the hydrological and geomorphological watershed features. The results of chemical analysis of the water show that all sampling points are out of class. The land use banks occur predominantly by single-family houses, occurring also important green patches, which would allow the implementation of green linear parks. The integration of diagnostics enabled performs a Map Zoning and Protection of the Moinho Brook banks, which constitutes a management tool. In it, four zones were defined: I) high-risk area; II) protection zone in the springs area and hill tops; III) an ecological buffer zone; IV) green corridor - linear park. The management plan provides, for each zone, specific measures for restoration of landscape, patterns of use of banks and sanitation, and socio-educational techniques to turn the stream as a cultural good.

Keywords: Guaíba Lake Watershed. Dilúvio watershed. Urban Environmental Management. Social and environmental vulnerability. Quality of water and sediment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01 – Projeção esférica parcial do globo (no alto à esquerda) com a localização do Rio Grande do Sul e, ampliado à direita, o Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Guaíba. O quadrado em vermelho está ampliado na Figura 2. [Fonte: Modificado de MENEGAT & KIRCHHEIM, 2006a]. | 16 |
| Figura 02 – À esquerda, Mapa de Sub-Bacias Hidrográficas de Porto Alegre, cujo retângulo amarelo identifica a microbacia do arroio Moinho [Fonte: MENEGAT & KIRCHHEIM, 2006b; modificado por Rodrigues, 2015] e, ampliado à direita, Mapa da Microbacia do Arroio Moinho [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 17 |
| Figura 03 – Mapa Geológico de Porto Alegre, à esquerda, e da microbacia do arroio Moinho, ampliado à direita, com a localização dos pontos amostrais P1, P1B, P2, P3 e P4. [Fonte: Menegat et al., 2006 modificado por Rodrigues, 2015]. | 19 |
| Figura 04 – Curvas da modelização de Meadows et al. (1992) que projetam o estrangulamento da economia no século XXI [Fonte: Palsule, 2004]. | 24 |
| Figura 05 – Fluxograma das Metodologias e Estratégias de Ação para realizar os diagnósticos da qualidade da água e de sedimentos de fundo e do uso e ocupação do solo. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 27 |
| Figura 06 – Águas cinzentas no local de coleta da água no Ponto 1 (P1), na região das nascentes em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2012]. | 28 |
| Figura 07 – Material acumulado no canal, águas escurecidas em P1B. Região das nascentes, registro em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2014]. | 28 |
| Figura 08 – Mapa da microbacia do arroio Moinho e localização dos pontos amostrados. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 29 |
| Figura 09 – Local do Ponto 2 (P2), no segmento superior do arroio em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 30 |
| Figura 10 – Local do Ponto 2 (P2) em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 30 |
| Figura 11 – Local do Ponto 3 (P3), no segmento intermediário do arroio em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 30 |
| Figura 12 – Local do Ponto 3 (P3) em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 30 |
| Figura 13 – Local do Ponto 4 (P4), próximo à foz em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 30 |
| Figura 14 – Local do Ponto 4 (P4), próximo à foz em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 30 |
| Figura 15 – Processo de peneiramento à esquerda e pesagem dos sedimentos na balança à direita. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 39 |
| Figura 16 – Estrutura da metodologia utilizada para gerar o Mapa de Uso e Ocupação do Solo das Margens do Arroio Moinho a partir de imagens de satélite. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 49 |
| Figura 17 – Gráfico da DBO nos pontos amostrados. A linha vermelha representa a DBO máxima admitida pela classe 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 52 |
| Figura 18 – Gráfico das concentrações de OD. A linha vermelha representa o limite inferior, 4 mg.O ₂ .L ⁻¹ , admitido pela classe 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 52 |
| Figura 19 – Concentrações de nutrientes, as linhas vermelhas representam o limite máximo de nitrogênio e fósforo para a classe 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 53 |
| Figura 20 – Contaminação orgânica expressa pelos Coliformes Fecais E. coli. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 53 |
| Figura 21 – Valores de pH nos pontos amostrados, os resultados estão dentro do intervalo de pH para águas classe 1, 2, 3 e 4. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 54 |
| Figura 22 – Gráfico dos valores de sólidos totais em mg.L ⁻¹ nos pontos amostrais P1, P2, P3 e P4. A linha vermelha representa o limite máximo da turbidez admitido pelas classes 2 e 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 54 |
| Figura 23 – Gráfico dos valores de turbidez em unidade nefelométrica de turbidez (NTU) nos pontos amostrais P1, P2, P3 e P4. A linha vermelha representa o limite máximo da turbidez admitida pelas classes 2 e 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 – Vala a céu aberto por onde escoar a chuva e também o esgotamento, evidenciado pela cor escura da água. | 58 |
| Figura 25 – Mapa da densidade demográfica e qualidade da água do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa]. | 59 |
| Figura 26 – Mapa de esgotamento sanitário da microbacia do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 60 |
| Figura 27 – Gráfico em barras dos resultados das análises granulométricas dos sedimentos de fundo do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 62 |
| Figura 28 – Resultado da distribuição granulométrica, análise mineralógica e morfológica para os dois pontos estudados. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 63 |
| Figura 29 – Difractogramas de raios X em rocha total na fração FF < 63 µm dos sedimentos de fundo das amostras P1B e P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 64 |
| Figura 30 – Difractogramas de raios X realizados na fração FF < 2 µm dos sedimentos de fundo nos pontos P1B e P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 65 |
| Figura 31 – Aumento das concentrações de Ni, Nb, Ga, Cu e Y de P1B para P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 68 |
| Figura 32 – Redução das concentrações de As, Sr, Cr, Pb e Co de P1B a P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 68 |
| Figura 33 – Os elementos Zr e Rb apresentam uma tendência de aumento nas concentrações, enquanto que os elementos Ba e Zn apresentam um comportamento inverso, ou seja, uma redução nas concentrações de P1B para P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 69 |
| Figura 34 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo das Margens do Arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 74 |
| Figura 35 – Mapa de Zoneamento das Margens e da Região de Nascentes do Arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 78 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 01 – Localização dos pontos de coleta e acesso aos locais. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 28 |
| Quadro 02 – Metodologia dos parâmetros analisados e seus respectivos limites de detecção. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 31 |
| Quadro 03 – Usos preponderantes de corpos d’água doce de acordo com a classificação. [Fonte: Resolução CONAMA 357/2005]. | 35 |
| Quadro 04 – Metodologia da elaboração dos intervalos de classe do Igeo. [Fonte: Müller, 1979, modificado por Rodrigues, 2015]. | 44 |
| Quadro 05 – Valores que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo. [Fonte: Resolução CONAMA 420/2009]. | 45 |
| Quadro 06 – Classes de qualidade de solo segundo as concentrações de substâncias químicas. VRQ: valor referência de qualidade. VP: valor de prevenção. VI: valor de investigação. [Fonte: Resolução CONAMA 420/2009]. | 47 |
| Quadro 07 – Classes de uso e ocupação do solo das margens do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 01 – Variáveis de qualidade da água e seus pesos relativos considerados no cálculo do IQA. [Fonte: CETESB, 2012] | 36 |
| Tabela 02 – Intervalos de qualidade da água. [Fonte: CETESB, 2012]..... | 36 |
| Tabela 03 – Índice de geoacumulação (Igeo) de metais pesados nos sedimentos do Rio Reno e suas classes. [Fonte: Müller, 1979]..... | 45 |
| Tabela 04 – Valor de referência de qualidade (VQR) nos elementos analisados nas rochas do ESR e da PC. [Fonte: Lei nº 85/2014, FEPAM] | 46 |
| Tabela 05 – Comparação entre os valores orientadores das principais prescrições legais para metais nos sedimentos de fundo. [Fonte: FEPAM (2014), CONAMA (2009), OLIVEIRA <i>et al.</i> (2001)]. | 46 |
| Tabela 06 – Parâmetros analíticos dos pontos amostrados no arroio Moinho e limites das classes de qualidade da água [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015; Resolução 357/2005, CONAMA]. | 51 |
| Tabela 07 – Temperatura, pH e condutividade elétrica medidos in situ nos pontos de amostragem. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015] | 55 |
| Tabela 08 – Valores dos parâmetros utilizados para estabelecer os IQA nos pontos amostrais. Os IQA são demonstrados na ultima coluna. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015] | 56 |
| Tabela 09 – Índice de qualidade da água dos pontos amostrados. [Fonte: Dados da Pesquisa]. | 56 |
| Tabela 10 – Relação entre área superficial específica (ASE) de algumas frações granulométricas e argilominerais. [Fonte: Dejou, 1987 <i>apud</i> Bortoluzzi. & Petry, 2008]. | 61 |
| Tabela 11 – Resultado da análise granulométrica dos sedimentos de fundo dos pontos amostrados no arroio Moinho expressos em %. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]..... | 61 |
| Tabela 12 – Concentrações mínima (min), máxima (máx) e média (md) dos elementos maiores em óxidos analisados no Granito Santana [Fonte: Oliveira, et al., 2001] e resultados das análises dos sedimentos de fundo nos pontos amostrados P1B e P2 em % [Fonte: Dados da Pesquisa]. A coluna em vermelho, Md, corresponde às concentrações de NBn. | 66 |
| Tabela 13 – Concentração média (md), máxima (max) e mínima (min) de metais no Granito Santana [Fonte: Oliveira <i>et al.</i> , 2001] e na fração FF< 63 µm dos sedimentos de fundo do arroio Moinho [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. Unidade: partes por milhão (ppm). Em vermelho, elementos mais tóxicos, em verde os valores adotados como NBn. | 67 |
| Tabela 14 – Fator de Contaminação dos metais nos sedimentos de fundo em P1B (FC1) e P2 (FC2) situados no arroio Moinho [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015] e o nível de base natural (NBn). | 69 |
| Tabela 15 – Índices de geoacumulação dos pontos amostrados (P1B e P2) na região das cabeceiras do arroio Moinho. Em vermelho, o elemento com maior concentração registrada em relação ao nível de base natural (NBn) [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 70 |
| Tabela 16 – Classes de Igeo dos metais nos sedimentos de fundo dos pontos amostrados. P1B e P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 71 |
| Tabela 17 – Valores orientadores VRQ, VP e VI para os elementos analisados nos sedimentos de fundo no arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. | 71 |
| Tabela 18 – Condições socioeconômicas da população residente nas áreas a montante dos pontos amostrados. [Fonte: Modificado de Lopez, 2011]. | 73 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO: RIOS DO AMBIENTE URBANO DE PORTO ALEGRE | 15 |
| 1.1 | ÁREA DE ESTUDO..... | 16 |
| 1.2 | GEOLOGIA DA ÁREA | 17 |
| 1.3 | CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E DA HIPÓTESE..... | 20 |
| 1.3.1 | Definindo o problema | 20 |
| 1.3.2 | Estabelecendo as hipóteses | 20 |
| 1.4 | JUSTIFICATIVA | 21 |
| 1.5 | OBJETIVO GERAL..... | 22 |
| 1.6 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 22 |
| 2 | ESTADO DA ARTE | 23 |
| 2.1 | PANORAMA GERAL | 23 |
| 2.2 | PANORAMA LOCAL | 26 |
| 3 | METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO..... | 26 |
| 3.1 | COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS DE ÁGUA..... | 27 |
| 3.2 | ANÁLISE QUÍMICA, FÍSICA E BIOLÓGICA DA ÁGUA..... | 31 |
| 3.3 | QUALIDADE DA ÁGUA..... | 34 |
| 3.4 | ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)..... | 35 |
| 3.5 | MAPA DA QUALIDADE DA ÁGUA, DENSIDADE POPULACIONAL E ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA MICROBACIA | 37 |
| 3.6 | ANÁLISE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO | 37 |
| 3.6.1 | Coleta e preservação das amostras..... | 38 |
| 3.6.2 | Preparação dos sedimentos de fundo | 38 |
| 3.6.3 | Análise Granulométrica | 39 |
| 3.6.4 | Mineralogia e Morfoscopia em Lupa Binocular | 39 |
| 3.6.5 | Princípios e protocolos da difração de raios X..... | 40 |
| 3.6.6 | Princípios e protocolos da fluorescência de raios X..... | 42 |
| 3.6.7 | Fator de Contaminação (FC)..... | 43 |
| 3.6.8 | Entendendo o Índice de Geoacumulação (Igeo)..... | 43 |
| 3.7 | NORMAS E VALORES DE REFERÊNCIA UTILIZADOS PARA ESTABELEECER A QUALIDADE DOS SEDIMENTOS..... | 45 |
| 3.8 | CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS | 47 |
| 3.9 | MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | 48 |
| 3.7.1 | Georreferenciamento..... | 48 |
| 3.10 | MAPA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL DAS MARGENS DO ARROIO MOINHO | 49 |
| 4 | RESULTADOS | 50 |
| 4.1 | ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA ÁGUA..... | 50 |
| 4.2 | RESULTADO DO IQA..... | 56 |
| 4.3 | MAPAS DA QUALIDADE DA ÁGUA, ESGOTAMENTO SANITÁRIO E DE DENSIDADE DEMOGRÁFICA | 57 |
| 4.4 | RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS SEDIMENTOS DE FUNDO | 61 |
| 4.4.1 | Análise Granulométrica | 61 |
| 4.4.2 | Mineralogia em Lupa Binocular e Morfoscopia | 62 |
| 4.4.3 | Difração de Raios X..... | 63 |
| 4.4.4 | Fluorescência de Raios X..... | 66 |
| 4.4.4.1 | Elementos maiores | 66 |
| 4.4.4.2 | Elementos traços | 67 |
| 4.4.5 | Fator de Contaminação | 69 |
| 4.4.6 | Índice de Geoacumulação | 70 |
| 4.5 | QUALIDADE DOS SEDIMENTOS..... | 71 |
| 4.6 | CARACTERÍSTICAS SOCIOECONOMICAS DA POPULAÇÃO DA MICROBACIA | 72 |
| 4.7 | MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS MARGENS DO ARROIO MOINHO..... | 73 |
| 5 | CONCLUSÕES: ANÁLISE E INTEGRAÇÃO PARA A GESTÃO AMBIENTAL DA MICROBACIA DO ARROIO MOINHO..... | 75 |
| 5.1 | MAPA DE ZONEAMENTO DAS MARGENS E REGIÃO DE NASCENTES DO ARROIO MOINHO..... | 77 |
| 6 | REFERÊNCIAS..... | 80 |

1 INTRODUÇÃO: RIOS DO AMBIENTE URBANO DE PORTO ALEGRE

O crescente processo de urbanização associado com a falta de saneamento básico está gerando níveis alarmantes de contaminação dos mananciais urbanos, que são usados como escoadouros de efluentes domésticos e industriais. Diante disso, as intervenções propostas pelos gestores comumente restringem-se a obras de canalização dos rios situados nos centros da cidade para que ninguém mais perceba o arroio como um elemento fundamental da paisagem e indissociável da cidade. Esse tipo de intervenção estabelece uma segregação entre um importante elemento natural – o arroio – e a cultura da população. Esta passa a ver o arroio como uma fonte de danos à qualidade de vida (águas fétidas, mosquitos, etc.). Desse modo,

As cidades constituem-se [...] não apenas como mosaicos de segregação urbana social, mas também de segregação em relação aos sistemas naturais, com conseqüente deterioração da qualidade de vida humana. (MENEGAT & ALMEIDA, 2004a, p.178).

Já nas chamadas periferias urbanas, os arroios ainda mantêm seu curso natural e, portanto, conservam certas relações ecológicas com as margens adjacentes. No entanto, as cargas emitidas pela população local os tornam uma fonte potencial de transmissão de doenças. Dessa maneira, os gestores têm apresentado dificuldades crescentes tanto para garantir a proteção da saúde dos moradores ribeirinhos quanto para garantir a qualidade ambiental dos mananciais.

Este trabalho adota a estratégia geral de que qualquer solução imediata corre o risco de ser perdida no curto prazo caso a população e os gestores não vejam o arroio e sua paisagem como um bem ambiental que melhora a qualidade de vida. Portanto, o desafio é o de propor diagnósticos que levem a uma governança continuada por meio de tecnologias socioeducativas. Visa-se contribuir para melhorar técnicas de diagnósticos simultâneos da qualidade da água, qualidade dos sedimentos de fundo, dos tipos de esgotamento sanitário, quadro comparativo das características socioeconômicas e do uso do solo das margens do arroio Moinho com vistas a uma gestão integrada dos mananciais urbanos com a população ribeirinha e do entorno.

A integração dos diagnósticos em termos de um mapa de zoneamento das margens e da região de nascentes do Arroio Moinho fornece um instrumento de gestão ambiental para toda a

região. Tais instrumentos são importantes para a gestão, pois podem ser utilizados tanto pelos órgãos de gestão, quanto pelas escolas e/ou pela população como base à formulação de políticas públicas que possam minimizar os impactos verificados. Trata-se de trabalho pioneiro ao propor-se a elaborar instrumentos de pactuação na gestão ambiental de arroios urbanos.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

O arroio Moinho ocupa parte da encosta da Crista de Porto Alegre. Suas margens suscetíveis a cheias e escorregamentos encontram-se ocupadas por uma população economicamente vulnerável. O grande volume de efluentes domésticos e de resíduos sólidos lançados no arroio sobrecarrega o manancial prejudicando suas funções ecológicas. Esse curso d'água é um afluente do arroio Dilúvio, o qual se constitui em uma das sub-bacias mais populosas de Porto Alegre, que, por sua vez, está situada na bacia hidrográfica do Lago Guaíba (Figura 1).

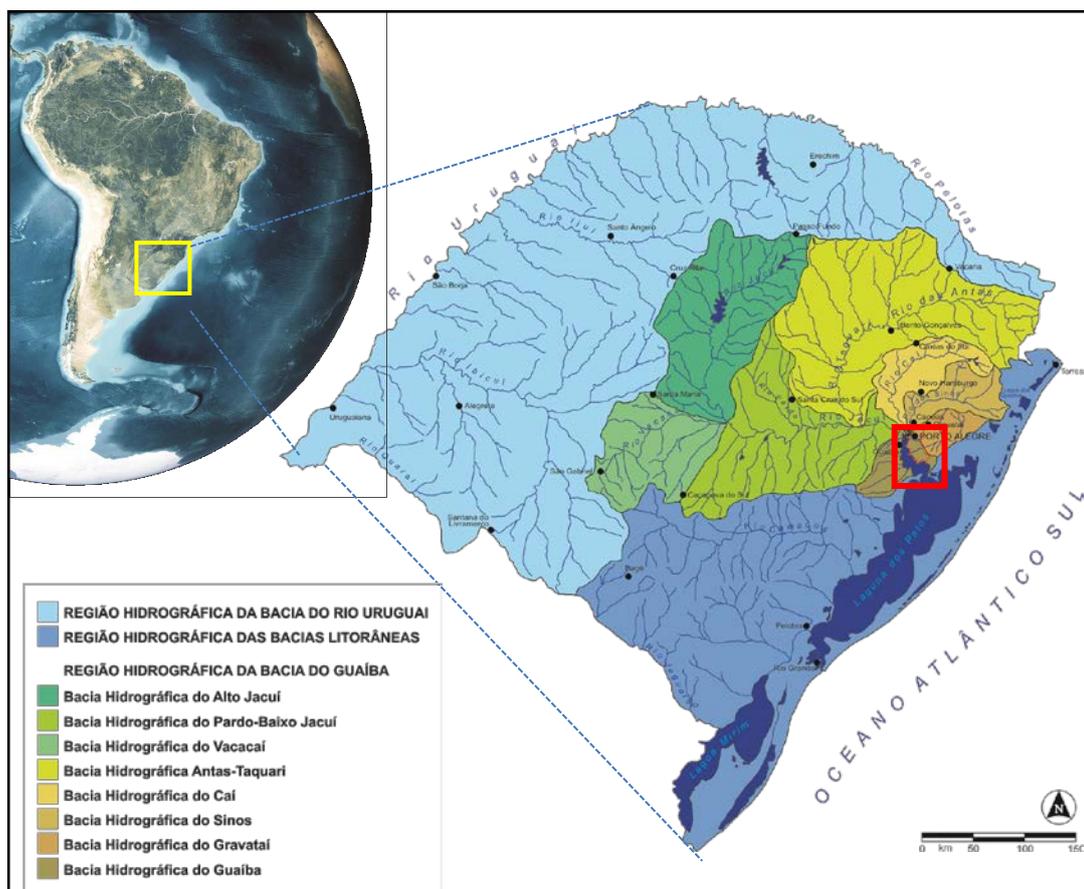


Figura 1 – Projeção esférica parcial do globo (no alto à esquerda) com a localização do Rio Grande do Sul e, ampliado à direita, o Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Guaíba. O quadrado em vermelho está ampliado na Figura 2. [Fonte: Modificado de MENEGAT & KIRCHHEIM, 2006a].

O arroio Moinho tem suas nascentes situadas nas encostas dos morros da Polícia, Pelado, da Companhia e da Cruz (Figura 2) na porção central da Crista de Porto Alegre, em uma zona de interface entre a cidade e a zona rururbana. Nessa microbacia, encontram-se os bairros Partenon, Vila João Pessoa, São José e Coronel Aparício Borges, e a população total que ali habita é de 44.009 habitantes (IBGE, 2000 *apud* Lopez, 2011).

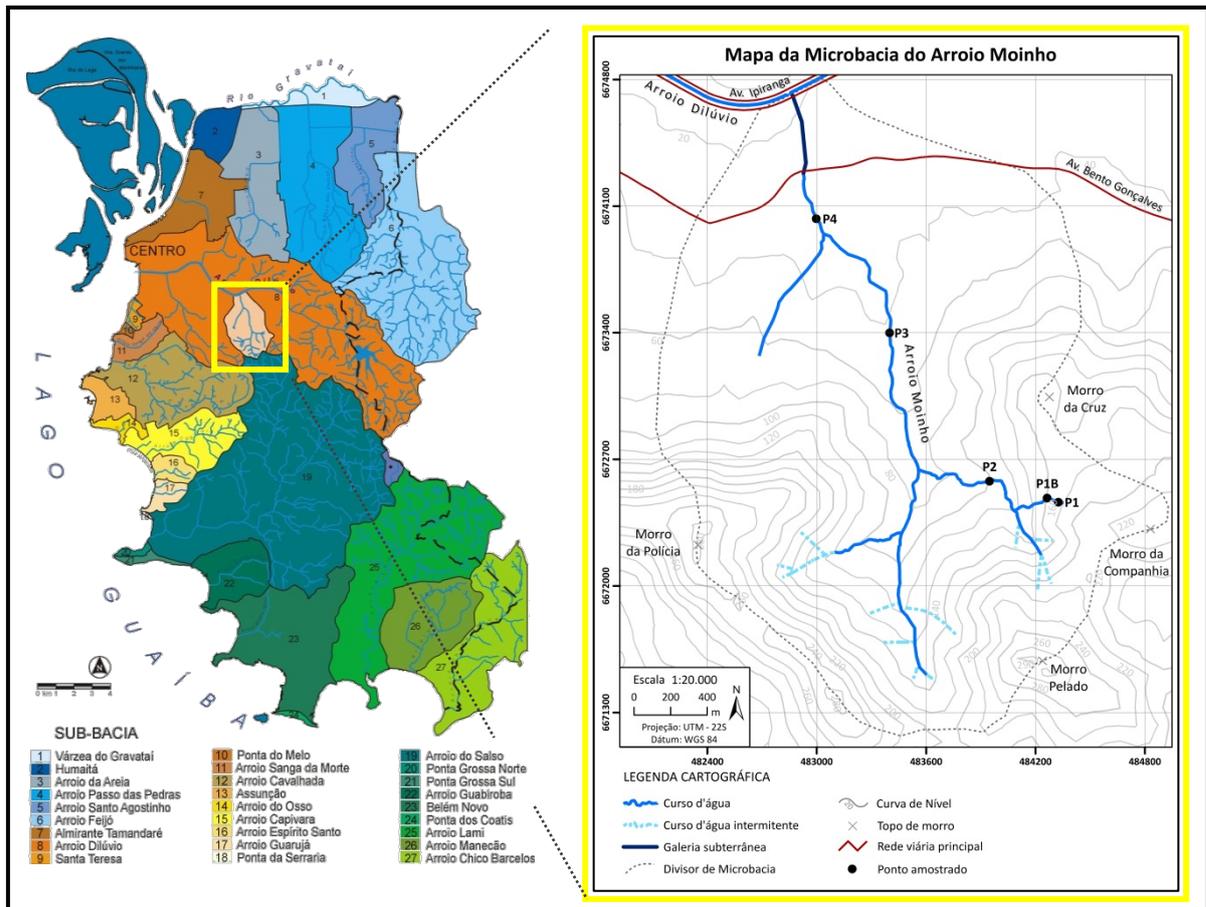


Figura 2 – À esquerda, Mapa de Sub-Bacias Hidrográficas de Porto Alegre, cujo retângulo amarelo identifica a microbacia do arroio Moinho [Fonte: MENEGAT & KIRCHHEIM, 2006b; modificado por Rodrigues, 2015] e, ampliado à direita, Mapa da Microbacia do Arroio Moinho [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

1.2 GEOLOGIA DA ÁREA

O arroio Moinho percorre três diferentes unidades geológicas (Figura 3) desde as nascentes até foz. As regiões de suas cabeceiras e do curso intermediário do arroio estão situadas nas encostas dos morros da Polícia, Pelado e da Companhia, fazem parte da Crista de Porto Alegre. A porção mais elevada dessa crista é constituída pelo Granito Santana. Contudo, as porções mais baixas, onde percorre o segmento intermediário do arroio, é constituída pelo

Granodiorito Três Figueiras. Por fim, a região da foz situa-se nos terraços arenosos do sistema Laguna/Barreira III e IV.

O Granito Santana, com textura equigranular média a grossa, apresenta variações desde sienogranito até monzogranito. O Granodiorito Três Figueiras compreende granodioritos a monzogranitos com textura equigranular média. As unidades graníticas e gnáissicas pré-cambrianas fazem parte do Escudo Sul-Rio-Grandense. Enquanto que os depósitos sedimentares fazem parte do sistema laguna-barreira, pertencente ao Quaternário da porção emersa da Bacia de Pelotas, denominada de Província Costeira.

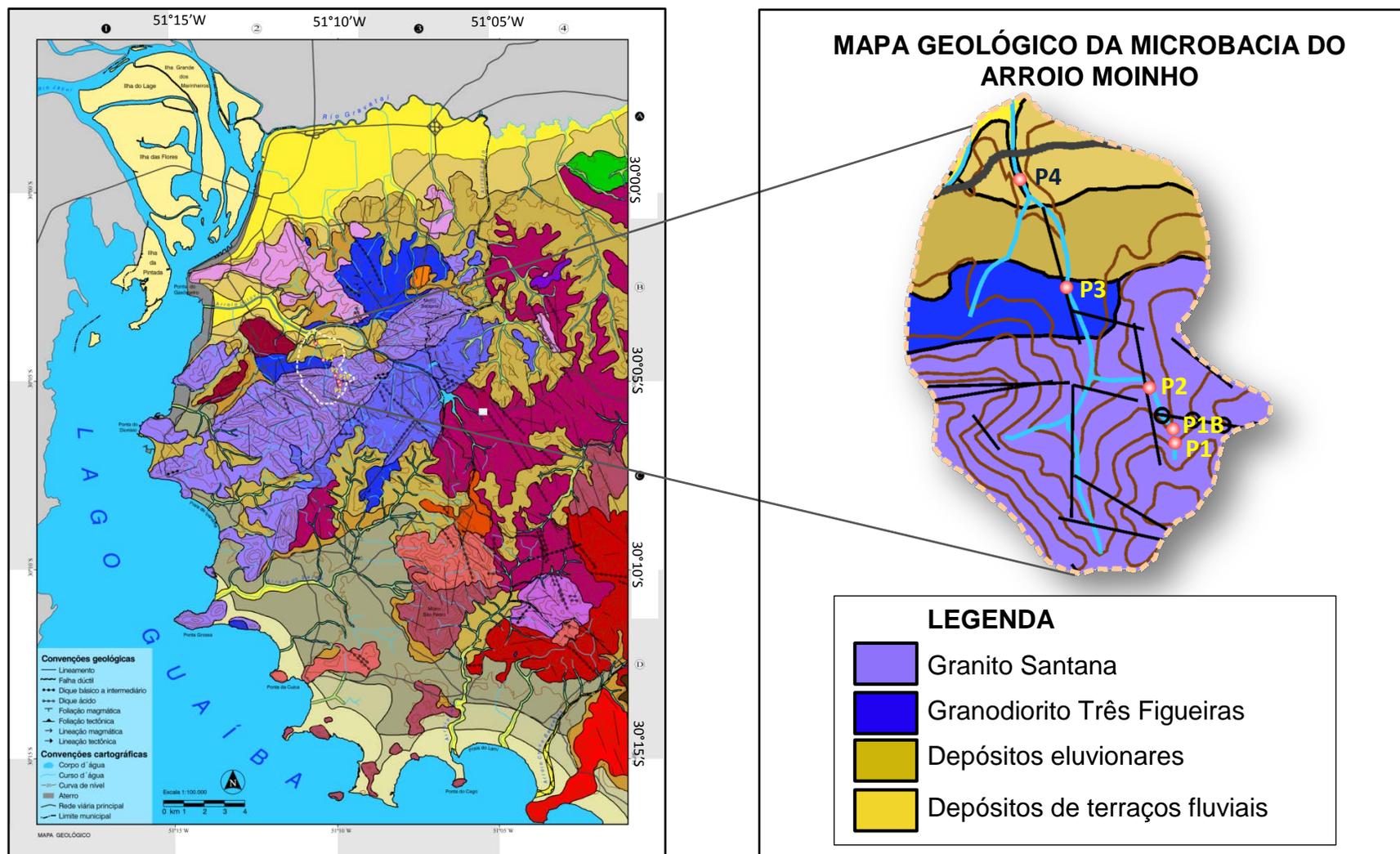


Figura 3 – Mapa Geológico de Porto Alegre, à esquerda, e da microbacia do arroio Moinho, ampliado à direita, com a localização dos pontos amostrais P1, P1B, P2, P3 e P4. [Fonte: Menegat *et al.*, 2006 modificado por Rodrigues, 2015].

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E DA HIPÓTESE

1.3.1 Definindo o problema

Na cidade de Porto Alegre, os arroios da região norte escoam para o rio Gravataí, que flui para o Lago Guaíba, enquanto que os arroios da região central e sul deságuam diretamente no lago, cuja qualidade da água é crítica (GUERRA, 2007; MENEGAT & CARRARO, 2009). Estima-se que anualmente são lançados no Lago Guaíba 79 vezes o seu volume em esgotos domésticos e 14 vezes em esgotos industriais (FEPAM *apud* MENEGAT & CARRARO, 2009). Exatamente na margem leste desse lago, é coletada a água que abastece cerca de 1,3 milhões de pessoas da cidade de Porto Alegre. Portanto, a qualidade da água para o abastecimento da população depende da qualidade da água dos arroios e rios que escoam para o Lago e isso requer uma gestão integrada de todo o sistema hídrico.

Além disso, o fato da microbacia estar situada nas encostas da Crista de Porto Alegre e por constituir-se em uma zona de interface “urbano-rural”, não significa que não tenha níveis críticos de contaminação e, por isso, possa comprometer a qualidade de vida dos habitantes do entorno. Qual é o grau dessa contaminação?

Além disso, as margens ribeirinhas protegidas pela legislação encontram-se ocupadas praticamente ao longo de todo seu percurso. O desenvolvimento de um projeto piloto nessa região poderá incentivar que uma população de cerca de duzentas mil pessoas que vivem em áreas similares na encosta da crista de Porto Alegre possa adotar sistemas de governança nas áreas ribeirinhas dos arroios da região.

1.3.2. Estabelecendo as hipóteses

O presente trabalho foi elaborado a partir das seguintes hipóteses:

- O arroio Moinho apresenta alto grau de contaminação de acordo com a tipologia de esgotamento e densidade populacional
- Há outros contaminantes além de efluentes domésticos

- A ocupação nas regiões ribeirinhas, por estar na interface urbana-natural-rural, reflete diferentes padrões de composição entre áreas urbanas e remanescentes naturais

1.4 JUSTIFICATIVA

O problema da contaminação de mananciais e da ocupação das regiões ribeirinhas nas regiões urbanas é um dos principais desafios da gestão ambiental no Brasil. Deles decorrem: a) deterioração das funções ecológicas de rios urbanos; b) ocupação inadequada nas margens protegidas e o conseqüente lançamento de efluentes domésticos que sobrecarregam os mananciais; c) problemas na saúde pública¹ causados pelos altos níveis de contaminação uma vez que são exercidas atividades recreativas pelas populações que moram próximo aos corpos d'água; e d) a canalização de mananciais urbanos (p.e., canalização do arroio Dilúvio em 1930). As soluções dadas geralmente restringem-se apenas ao saneamento básico – coleta do esgoto e lançamento do mesmo nos arroios. Faz-se, com isso, uma ação tópica e pontual do problema, e não se resgata o valor integral do arroio para a cultura da comunidade que vive no seu entorno, de modo que haja uma educação que evidencie um dos mais importantes bens da vida humana: a água que bebemos.

Há uma dificuldade recorrente do poder público e da população em construir tecnologias sociais de governança de áreas ribeirinhas de arroios urbanos em áreas de vulnerabilidade econômica. Questões importantes são pouco consideradas, como:

- Agregar um valor social-cultural ao arroio e inseri-lo na paisagem urbana como um bem que todos devem cuidar.
- A construção de uma cidadania portadora de valores fundamentais relacionados à água e aos mananciais que abastecem as cidades.
- Efetividade das leis de proteção às margens de rios urbanos que constituem áreas de proteção permanente.

Este estudo propõe instrumentos que ajudem a estimular um pacto de uso das margens do arroio Moinho, o qual pode ser base para uma solução jurídica do problema. Entre a inanição

¹As doenças de veiculação hídrica como cólera, disenteria, febre tifoide, entre outras constituem são uma ameaça à saúde das populações ribeirinhas. A Fundação das Nações Unidas para Infância no Brasil (UNICEF, 2014) estima que 1,5 milhão de crianças morrem ao ano por diarreia (segunda maior causa), 88% dessas mortes são atribuídas à qualidade da água, saneamento inadequado e falta de higiene. Estima-se que 15 crianças de 0 a 4 anos morrem por dia no Brasil em decorrência da falta de saneamento básico, principalmente de esgoto sanitários (ÁGUA E CIDADE, 2014).

de ações, que apenas incentiva a ocupação, e propostas que busquem estabelecer pactos e marcos regulatórios da ocupação em áreas ribeirinhas, é preferível a segunda opção.

O monitoramento da qualidade da água e dos sedimentos de fundo, do uso e ocupação do solo das margens do arroio e a análise das características socioeconômicas da população são ferramentas fundamentais para estabelecer diretrizes adequadas para uma gestão integrada de mananciais.

1.5 OBJETIVO GERAL

Elaborar um mapa de zoneamento das margens e região das nascentes do arroio Moinho a partir dos diagnósticos das condições socioambientais das margens. O zoneamento tipifica os possíveis usos das margens de modo a ajudar na melhoria das condições ambientais e na reintegração do arroio como elemento importante da paisagem.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar a qualidade da água de acordo com a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para águas doces a partir da determinação dos seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica por oxigênio (DBO), potencial hidrogênionico (pH), coliformes fecais *Escherichia coli*, fósforo total, nitrogênio total Kjeldahl, sólidos totais, turbidez, alumínio dissolvido, arsênio, chumbo e fenóis totais;
- Avaliar a qualidade dos sedimentos de fundo ($FF < 63\mu\text{m}$) de acordo com a Resolução 420/2009 do CONAMA por meio da caracterização química;
- Caracterizar a distribuição granulométrica, a morfoscopia e a mineralogia dos sedimentos de fundo;
- Elaborar mapas da densidade populacional (Censo IBGE 2010) e da qualidade da água, dos tipos de esgotamento sanitário;
- Elaborar um Mapa de Uso e Ocupação do Solo das Margens Ribeirinhas do Arroio Moinho por meio de informações espaciais e com a utilização do software *ArcGIS*;

- Construir um quadro comparativo das condições socioeconômicas da população a montante dos pontos de coleta de acordo com dados do IBGE (2000) e do estudo realizado na área por Lopez (2011).

2 ESTADO DA ARTE

2.1 PANORAMA GERAL

O crescimento desordenado das cidades está causando proporcional degradação ambiental do sistema natural. A Organização das Nações Unidas (ONU, 2014a) e o *Population Reference Bureau* (PRB, 2014) estimam que a população urbana mundial, em 2050, irá dobrar, passando para 6,72 bilhões de habitantes concentrados em cidades. Assim, avançarão de 51% da população total hoje concentrada nas cidades, para 70% dos possíveis 9,3 bilhões totais de 2050. Essa estimativa associada ao modelo econômico vigente – que transformou a natureza em recurso para o crescimento econômico – aponta para o possível colapso ecológico descrito por Dornela Meadows e colaboradores em *Beyond the Limits: global collapse or a sustainable future* em 1992 (MEADOWS *et al.*, 1992 *apud* PALSULE, 2004). A Figura 4 mostra como o comportamento das curvas de recursos não renováveis (Figura 4, curva 1), da produção industrial *per capita* (Figura 4, curva 2), da população (Figura 4, curva 4), da poluição (Figura 4, curva 5), que eram ascendentes em todo o século XX, exceto para recursos não renováveis, extrapolam e colapsam na projeção feita para o do século XXI (PALSULE, 2004), evidenciando o estrangulamento da economia.

Nesse contexto, encontra-se a contaminação dos recursos hídricos urbanos. Tundisi e Tundisi (2011) avaliam que uma das principais causas da contaminação dos mananciais urbanos é o lançamento de águas residuais de uso doméstico e industrial. Gomes (2013) descreve que atualmente a água é vista como mero recurso econômico. Dessa maneira, a relação entre a humanidade e a água reduziu-se a um problema de mercado, deixando de ser uma questão geossistêmica.

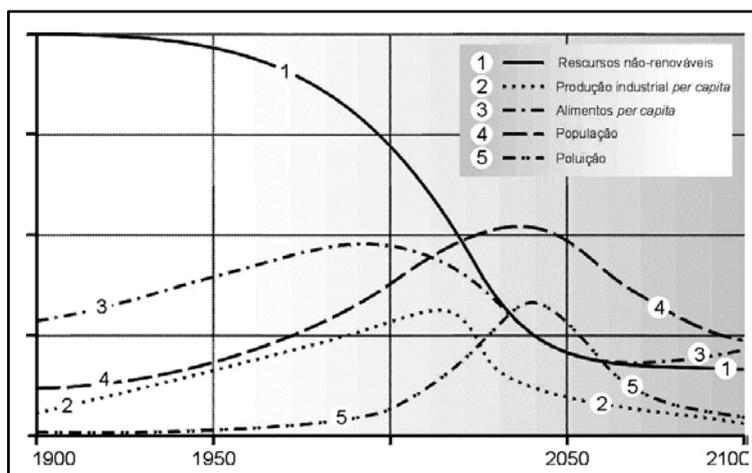


Figura 4 – Curvas da modelização de Meadows *et al.* (1992) que projetam o estrangulamento da economia no século XXI [Fonte: Palsule, 2004].

Bursztyb e Bursztyb (2012) relatam a busca da humanidade, desde os seus primórdios, pelo aperfeiçoamento de técnicas de domínio da natureza e dessa maneira a evolução do conhecimento humano permitiu a sua evolução em saltos. No entanto, o estabelecimento da natureza como um bem livre causou desequilíbrios no metabolismo e nos ciclos naturais da Terra. O termo sustentabilidade surge diante da necessidade de equilibrar o desenvolvimento econômico e o consumo dos recursos naturais sem comprometer o bem estar das gerações futuras (CMAD/ONU, 1987).

Dessa forma, a gestão ambiental coloca-se como mecanismo de regulação das práticas humanas. No entanto, a adoção de princípios neoliberais em 1990 na América Latina enfraqueceu o papel de regulação do Estado por meio de privatizações de empresas públicas e de medidas que desproveram o Estado da responsabilidade de alguns serviços. Assim, aumentou o espaço do mercado para práticas danosas tanto em relação à sociedade quanto ao meio ambiente (BURSZTYB & BURSZTYB, 2012).

A Constituinte de 1988 ampliou as áreas de atuação dos municípios que anteriormente eram atribuídas ao governo federal, como a gestão ambiental, saúde, educação e segurança pública (MENEGAT & ALMEIDA, 2004a). Embora a participação direta na gestão pública tenha sido legitimada, poucos são os mecanismos de participação popular (MENEGAT, 2002a; MENEGAT, 2002b; MENEGAT & ALMEIDA, 2004b). A Agenda 21 (ONU, 2014b) elaborou programas de gestão ambiental considerando o desenvolvimento sustentável e a participação dos cidadãos. No entanto, de acordo com os autores citados acima, poucas experiências municipais se desenvolveram na América no Sul e no Brasil. Essa dificuldade

deve-se aos conceitos de desenvolvimento urbano do século XIX e início do sec. XX, onde o crescimento urbano requer o consumo dos recursos não renováveis.

Dentro da esfera de regulação, Bursztyb e Bursztyb (2012) consideram que mecanismos de controle e comando adotados pelo Estado não são suficientes para garantir a proteção dos bens naturais. Os autores destacam a necessidade de uma mudança na conduta, à adoção de valores éticos e conhecimento, não apenas obediências às leis. Assim, torna-se necessária à adoção de medidas de culturalização e valoração da natureza que são geralmente desconsideradas pelos gestores e governantes. Menegat e Almeida (2004b) propõem uma gestão por meio da integração das seguintes esferas: a) conhecimento do ambiente, das dinâmicas locais e globais; b) programas de gestão-urbana-social-ambiental considerando a sociedade e a economia; c) participação; e d) educação.

Pompêo e Moschini (2012) relatam que o investimento em saneamento básico é um desafio no Brasil. No entanto, esse desafio não está restrito ao Brasil, de acordo com a ONU (2014a) cerca de 50% da população mundial sofrem com problemas sanitários e 2,5 bilhões de pessoas no mundo não tem acesso ao saneamento básico.

No presente trabalho para investigar a contaminação de mananciais pelo lançamento de esgoto, são realizadas análises químicas nas águas e nos sedimentos de fundo. Os parâmetros analisados nas águas são descritos por diversos autores como Cristovão (1969), Hem (1970), Batalha e Parlato (1977), Corson (1993), Sperling (1996), Branco *et al.*, (2006), Sperling *et al.*, (2009), Derísio (2012). A *American Water Works Association* (1964, *apud* BRANCO *et al.*, 2006) alertou os perigos da transmissão de doenças de veiculação hídrica causada pelo lançamento de efluentes domésticos como a cólera, a febre tifoide, a hepatite A, entre outras doenças.

A contaminação dos mananciais por metais é investigada nos sedimentos de fundo e representam perigo ao sistema aquático e às populações que se alimentam desses organismos na cadeia alimentar (FÖRSTNER, 1983). Embora alguns desses elementos sejam descritos como essenciais aos seres vivos em seus processos metabólicos, desde que em pequenas concentrações (ex. Mg, Fe, Zn e Mo), podem se tornar tóxicos em maiores concentrações (LAYBAUER, 2002). Já alguns metais (ex. Pb, Cr, Ni) constituem risco a saúde devido a sua toxicidade mesmo em pequenas concentrações. Importantes investigações de contaminação de metais foram feitas por Laybauer (2002) no Lago Guaíba e por Guerra (2000) na Região do Baixo Jacuí.

2.2 PANORAMA LOCAL

Na área de estudo, Duarte (2002) analisou parâmetros físico, químicos e biológicos em três pontos de amostragem nas águas do arroio Moinho, sendo um ponto de amostragem situado no curso médio (P2) e dois pontos (P3 e P4) no curso inferior. As medidas de vazão corresponderam a 0,00525 em P2, 0,4485 em P3 e 0,5423 m³.s⁻¹ em P4. Os resultados de Duarte (2002) permitiram enquadrar os três pontos na classe 4 de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA. O referido autor estimou o índice de qualidade da água (IQA), onde todos os pontos apresentam péssima qualidade. Lopez (2011) delimitou unidades de paisagem (UP1 a UP5) na área da microbacia de acordo com as diferentes características socioeconômicas da população (*sensu* IBGE, 2000) e com o processo de ocupação.

3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

O trabalho seguiu os seguintes procedimentos metodológicos estruturados no Fluxograma Metodológico (Figura 5)



Figura 5 – Fluxograma das Metodologias e Estratégias de Ação para realizar os diagnósticos da qualidade da água e de sedimentos de fundo e do uso e ocupação do solo. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

3.1 COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS DE ÁGUA

A coleta de água ocorreu em quatro pontos (P1, P2, P3 e P4), ver localização no mapa da microbacia (figura 8), distribuídos de acordo com a geomorfologia da microbacia (Quadro 1) e com acessibilidade. As coletas de água ocorreram em junho de 2012.

Quadro 1 – Localização dos pontos de coleta e acesso aos locais. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| PONTOS | COORDENADAS UTM | Altitude (m) | ACESSO AO LOCAL DE COLETA |
|--------|--------------------------|--------------|--|
| P1 | 0484326 mE 6672463 mS | 165 | Região de nascentes. Acesso por becos e vielas a partir da Rua Santa Tereza. Ponto exclusivo para coleta de água. |
| P1B | 0484264 mE 6642486 mS | 161 | Região de nascentes. Acesso pelos fundos da casa do Sr. Sérgio (residência sem número) a partir da Rua Santa Teresa. Ponto exclusivo para coleta de sedimentos de fundo. |
| P2 | 0483950 mE 6672572 mS | 102 | Segmento intermediário superior do arroio. Próximo à ponte de acesso a casa n° 2021 na rua Martins de Lima, cuja moradora chama-se Sra. Neuza. Ponto exclusivo para coleta de sedimentos de fundo. |
| P3 | 0483422 mE 6673398 mS | 43 | Segmento intermediário inferior do arroio. Área do <i>Campo da Tuca</i> . Acesso pela Rua Condor, em frente ao n° 382. Não foi possível coletar sedimentos neste ponto. |
| P4 | 0482998 mE 6674030 mS | 30 | Segmento inferior do arroio. Acesso pela rua Evangelina Porto, 282. Aos fundos da casa das crianças Leandro e Rejane. Não foi possível coletar sedimentos neste ponto. |

As condições dos locais de coleta foram registradas por meio de fotografias (Figuras 6, 7, 9 a 14) que seguem abaixo.

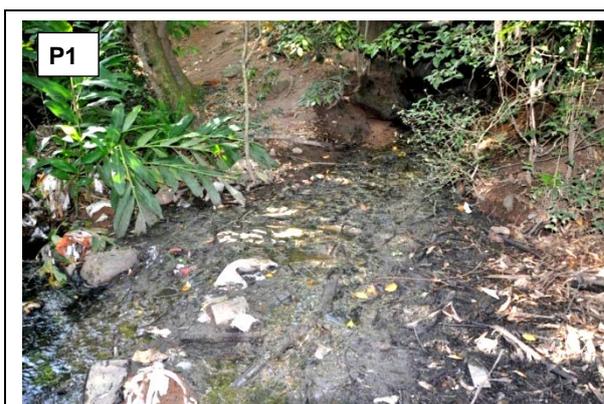


Figura 6 – Águas cinzentas no local de coleta da água no Ponto 1 (P1), na região das nascentes em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2012].



Figura 7 – Material acumulado no canal, águas escuras em P1B. Região das nascentes, registro em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2014].

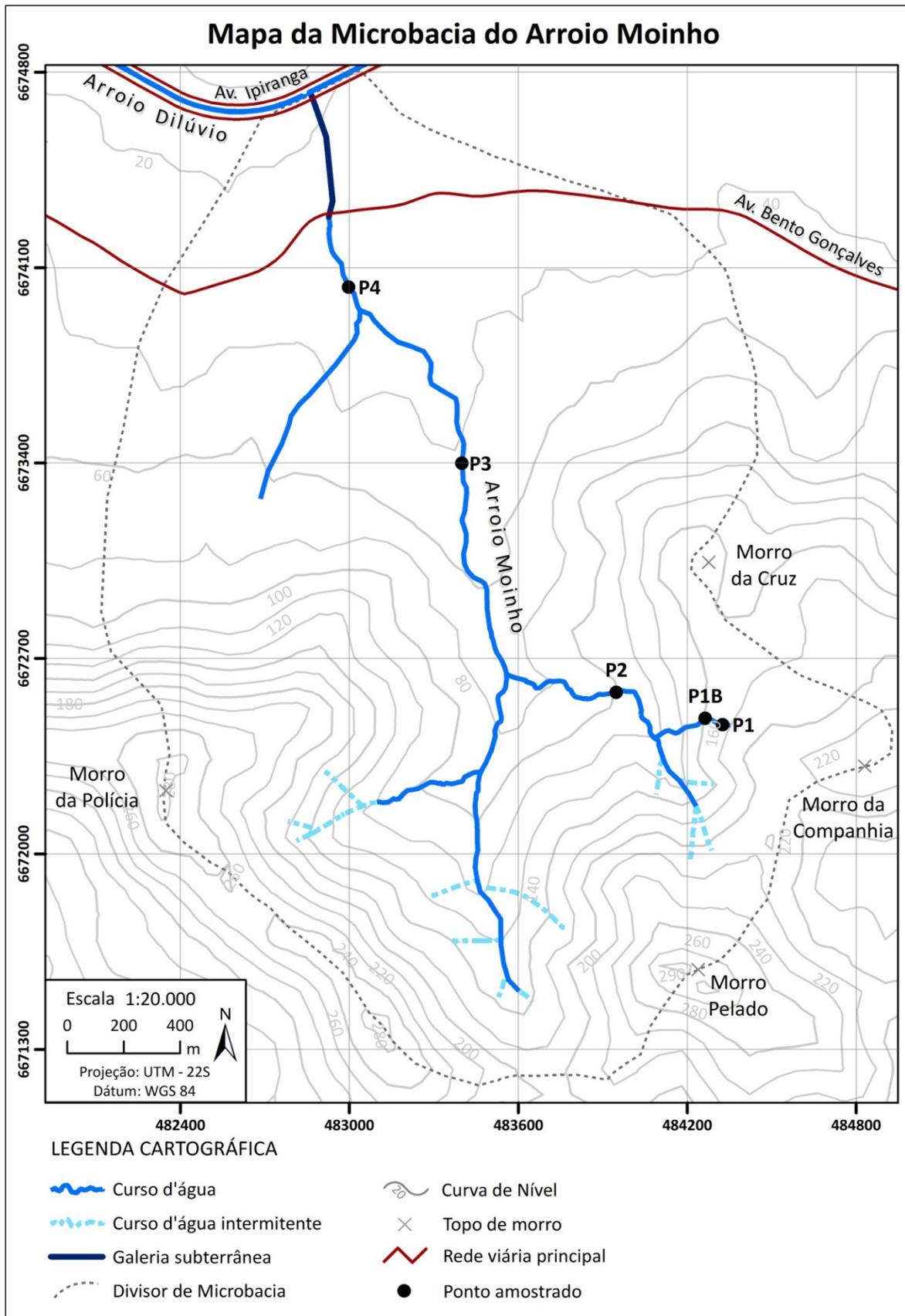


Figura 8 – Mapa da microbacia do arroio Moinho e localização dos pontos amostrados. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

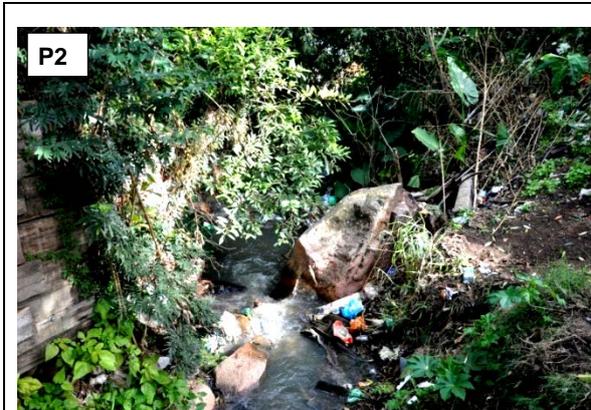


Figura 9 – Local do Ponto 2 (P2), no segmento superior do arroio em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].



Figura 10 – Local do Ponto 2 (P2) em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].



Figura 11 – Local do Ponto 3 (P3), no segmento intermediário do arroio em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].



Figura 12 – Local do Ponto 3 (P3) em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

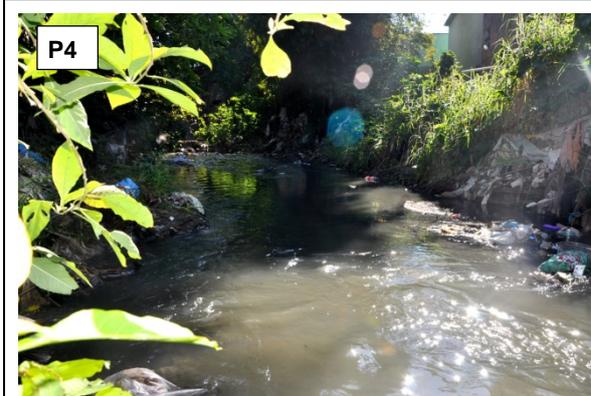


Figura 13 – Local do Ponto 4 (P4), próximo à foz em 2012. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].



Figura 14 – Local do Ponto 4 (P4), próximo à foz em 2014. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

As metodologias utilizadas nas análises químicas de água pela Central Analítica da Feevale e os seus respectivos limites de detecção são apresentadas no quadro 2.

Quadro 2 – Metodologia dos parâmetros analisados e seus respectivos limites de detecção. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| PARÂMETRO | MÉTODO | UNIDADE | LIMITE DE DETECÇÃO |
|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------|
| Oxigênio dissolvido | Winkler/Azida | mg.O ₂ .L ⁻¹ | 0,5 |
| Demanda bioquímica de oxigênio | Manometria | mg.O ₂ .L ⁻¹ | 5,0 |
| Fósforo total | Colorimetria | mg. L ⁻¹ | 0,012 |
| Nitrogênio total [Kjeldahl] | Titulometria | mg. L ⁻¹ | 0,5 |
| Coliformes Fecais <i>E. coli</i> | Substrato Enzimático | NMP.100ml ⁻¹ | - |
| pH | Potenciometria | - | - |
| Sólidos totais | Gravimetria | mg. L ⁻¹ | 1 |

As amostras foram devidamente acondicionadas em caixas térmicas e encaminhadas, no mesmo turno, para um laboratório credenciado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) responsável pelas análises químicas. Dessa maneira, as metodologias das técnicas analíticas não serão aqui descritas por terem sido efetuadas pelo laboratório.

3.2 ANÁLISE QUÍMICA, FÍSICA E BIOLÓGICA DA ÁGUA

Considerando os padrões de qualidade embasados legalmente na Resolução 357/2005 do CONAMA, foram escolhidos parâmetros que caracterizam a influência das fontes antrópicas no manancial. As análises foram selecionadas de acordo com as correspondentes fontes de contaminação:

- Contaminação orgânica: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio, fósforo e fenóis;
- Contaminação bacteriana: Coliformes fecais *E. coli*.
- Substâncias tóxicas: arsênio, alumínio e chumbo.
- Outros parâmetros: sólidos totais, temperatura, pH, turbidez e condutividade elétrica.

Os parâmetros são descritos com base em um importante manual de Libânio (2010). Outras bibliografias serão citadas no decorrer do texto.

Demanda bioquímica por oxigênio. Expressa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica dissolvida na água por meio da ação de bactérias. A oxidação é um

processo de simplificação da matéria orgânica em substâncias como NH_3 , CO_2 , H_2O e sais minerais (DERÍSIO, 2012). Altos teores de DBO constituem uma das mais graves consequências da poluição de mananciais causada pela introdução de carga orgânica por efluentes (BRANCO *et al.*, 2006). Quando a demanda por oxigênio é maior que a sua concentração nos corpos d'água, ocorre a morte dos organismos aquáticos.

Oxigênio dissolvido. Reflete a contaminação pelo lançamento de efluentes domésticos, uma vez que microrganismos consomem o oxigênio nos seus processos metabólicos (SPERLING, 1996). Os peixes necessitam de concentração de oxigênio em torno de 4 a 5 mg.L^{-1} . Quando o oxigênio dissolvido atinge 2 mg.L^{-1} , os peixes morrem e em torno de 0 mg.L^{-1} têm-se condições anaeróbicas (SPERLING, 1996). A *American Water Works Association* (1964) associa a alta emissão de esgoto em mananciais às condições de insuficiência de oxigênio dissolvido e que, dessa maneira, se instalam condições pútridas nas águas.

Fósforo e nitrogênio. São essenciais para funções vitais de algas e outros microrganismos no ambiente aquático (BATALHA & PARLATORE, 1977). Em mananciais urbanos, o incremento nas concentrações naturais é dado pelo lançamento de efluentes domésticos e agrícolas. Quando atingem concentrações elevadas nos cursos d'água, induzem a proliferação excessiva de microrganismos e macrófitas, levando a condições de hipoxia. Esse processo é chamado de eutrofização e constitui um dos principais problemas de poluição de mananciais urbanos (SPERLING *et al.*, 1996). De acordo com esses autores, condições intermediárias de eutrofismo se estabelecem quando a concentração de fósforo total está entre 0,02 e 0,05 mg.L^{-1} e eutrófica acima de 0,05 mg.L^{-1} . Além de impactos ecológicos, a proliferação desses organismos atribui odor (gases produzidos durante a decomposição anaeróbica dos organismos), cor e sabor à água de maneira que oneram o custo do seu tratamento.

Fenóis. Compostos fenólicos são hidróxidos derivados do benzeno e dos seus núcleos condensados (BATALHA & PARLATORE, 1977). De acordo com os autores, são utilizados na indústria de alguns pesticidas e herbicidas. Esses compostos afetam a qualidade da água e dificilmente são removidos pelo tratamento convencional. Causam danos aos peixes em concentrações superiores a 5 mg.L^{-1} .

Coliformes fecais *E. coli*. A ocorrência de organismos patogênicos presentes na água está associada a fezes. Mananciais utilizados como escoadouros constituem fontes potencialmente transmissoras de doenças de veiculação hídrica. A determinação da concentração de bactérias

de origem entérica é feita pelo grupo Coliformes fecais *E. coli*. Esse microrganismo é produzido unicamente em intestinos de animais de sangue quente. Assim, não pode indicar outra origem. Ao chegar à água, essa bactéria não encontra as condições necessárias para reproduzir-se e sua taxa de redução é similar a de bactérias patogênicas. Além disso, sua resistência às ações depuradoras é semelhante à resistência dos organismos patogênicos.

Sólidos totais. Os sólidos totais são formados por silte, argila e matéria orgânica dissolvidos na água. Atribuem turbidez à água, prejudicam assim a captação de luz pelos organismos aquáticos fotossintetizantes (SANT'ANNA, 2010). A sua maior aplicação é para calcular o IQA (DERÍSIO, 2012).

Temperatura. A alteração dessa medida em cursos d'água decorre principalmente da insolação ou de atividades antrópicas (ex. lançamento de despejos industriais). Em países tropicais, o intervalo de variação de temperatura da água é de 20 a 25°C. Apesar de influenciar a solubilidade dos gases, esse parâmetro não é considerado pelo CONAMA na classificação das águas.

Potencial Hidrogeniônico. Esse indicador expressa o equilíbrio entre os íons de hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-). A faixa de variação é entre 0 e 14, onde 7 corresponde ao valor neutro (concentração de íons de H^+ igual ao de OH^-). Quando ocorre a predominância de íons H^+ , o pH é chamado ácido e corresponde a um valor inferior a 7. Quando predomina íons de OH^- , o pH é chamado básico e o valor é superior a 7. As maiores alterações antrópicas nos valores de pH em corpos d'água ocorrem pelo despejo de resíduos ácidos industriais ou da mineração. Mudanças no valor de pH num manancial podem acarretar na mortandade dos organismos aquáticos do ambiente.

Turbidez. Está associada a partículas dissolvidas na água, como silte e argila, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada. É “uma inferência da concentração de partículas suspensas na água obtida por meio da passagem de um feixe de luz”. Esse parâmetro é conceituado pela *American Public Health Association* como “expressão da propriedade ótica que faz a luz ser dispersa ou absorvida em vez de ser transmitida em linha reta através da amostra” (LIBÂNIO, 2010, p. 30).

Condutividade elétrica. Indica a capacidade da água de transmitir uma corrente elétrica, é atribuída à presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions (ferro, manganês, K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}). Dessa maneira, é proporcional à concentração iônica.

Compostos orgânicos não se dissociam em soluções aquosas. Assim, soluções com altas cargas de compostos orgânicos provocam a redução da transmissão da corrente elétrica. Os valores usuais de condutividade elétrica das águas naturais são inferiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Alumínio, arsênio e chumbo. A exposição aos metais pesados em determinadas concentrações e tempo causam danos à saúde (ANDREOLI & SPERLING, 2001). Considerando a toxicidade de metais e que há descarte de resíduos sólidos ao longo de todo o curso do arroio, fez-se a análise dos elementos químicos alumínio, arsênio e chumbo totais. O alumínio ocorre em abundância em granitos e em águas naturais ocorre em concentrações superiores a partes por milhão em um litro (HEM, 1970). O arsênio é introduzido por atividades antrópicas como a agricultura e queima de combustíveis fósseis, cuja queima o introduz no sistema hidrológico, pelas chuvas. A ingestão de altas concentrações de As causam irritações gastrointestinais, baixa pressão sanguínea e convulsões, podendo causar morte. O consumo prolongado de água contendo As causa o desenvolvimento de tumores em órgãos, além de danos a pele e ao sistema respiratório. O chumbo é utilizado na fabricação de objetos como brinquedos, pilhas, baterias. Esse metal é tóxico, quando consumido por longos períodos, causa câncer, danos nos rins e no desenvolvimento mental de crianças.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados das análises química, física e biológica são comparados com a prescrição legal brasileira disposta pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente por meio da Resolução 357/2005. Esta Resolução permite enquadrar os mananciais em classes de qualidade da água, de acordo com o grau de contaminação e estabelecer usos das águas. As classes de qualidade da água são caracterizadas como o conjunto de condições e padrões de qualidade necessários ao atendimento de usos preponderantes atuais e futuros. Numeradas de 1 a 4, as classes regulam os seus usos, de maneira que a classe 3 representa o limite máximo de contaminação permitido para destiná-la ao abastecimento após tratamento adequado. Os usos de um corpo d'água enquadrado na classe 4 são restritos à navegação e à harmonia paisagística. Assim, os resultados das análises feitas no presente trabalho foram comparados com os limites estipulados pela classe 3, considerando que as águas do arroio Moinho escoam para a sub-bacia do arroio Dilúvio onde, por sua vez, aflui ao Lago Guaíba.

O objetivo do enquadramento é controlar e proibir o lançamento de poluentes em níveis nocivos ou perigosos tanto à saúde e bem estar dos seres humanos quanto ao equilíbrio

ecológico dos corpos d'água. Os usos das águas doces em relação ao enquadramento são apresentados no quadro 3, abaixo.

Quadro 3 – Usos preponderantes de corpos d'água doce de acordo com a classificação. [Fonte: Resolução CONAMA 357/2005].

| USO | CLASSES DE ÁGUA DOCE | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|---|---|---|---|
| | ESPECIAL | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Abastecimento doméstico, após: | | | | | |
| Desinfecção | x | | | | |
| Simplificado | | x | | | |
| Convencional | | | x | x | |
| Comunidades aquáticas: | | | | | |
| Preservadas | x | | | | |
| Protegidas | | x | x | | |
| Recreação contato: | | | | | |
| Primário | | x | | | |
| Secundário | | | x | | |
| Irrigação | | a | b | c | |
| Pesca | | | x | x | |
| Aquicultura | | | x | | |
| Dessedentação de animais | | | | x | |
| Navegação e harmonia paisagística | | | | | x |

(a) hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo ingeridas cruas sem remoção da casca; (b) hortaliças, frutas, parques, jardins, campos de esporte e de lazer com os quais o público possa ter contato direto; (c) culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.

3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O IQA foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (1970), nos Estados Unidos, a partir de um estudo feito por especialistas em qualidade da água. O índice incorpora nove parâmetros considerados importantes para avaliação da qualidade da água, são eles: OD, coliformes fecais, pH, DBO, fósforo total, nitrato total, turbidez, sólidos totais e temperatura. Para cada parâmetro, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade da água.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012) e o Comitesinos (1993) adotaram o índice. A equação utilizada para estabelecer o IQA é a seguinte:

$$IQA = \sum_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: índice de qualidade da água, um valor entre 0 e 100, sendo 100 para a melhor qualidade;

- n**: número de parâmetros que entram no cálculo;
q_i: qualidade relativa do i-ésimo parâmetro obtida na “curva média de variação da qualidade” em função da concentração do parâmetro, número entre 0 e 100;
w_i: é o peso relativo do i-ésimo parâmetro atribuído em função de sua importância no cálculo, número entre 0 e 1;
i: número de ordem do parâmetro (1 a 8).

Quando proposto, o objetivo desse índice foi de avaliar a qualidade da água destinada ao abastecimento público após tratamento. Porém, atualmente é utilizado para avaliar a qualidade também das águas brutas. Para cada parâmetro da equação, é atribuído um peso, cujos valores são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis de qualidade da água e seus pesos relativos considerados no cálculo do IQA.
 [Fonte: CETESB, 2012]

| PARÂMETROS q _i | PESO w _i |
|------------------------------|------------------------|
| OD (%) | 0,17 |
| Coliformes fecais | 0,15 |
| pH | 0,12 |
| DBO | 0,10 |
| Fósforo t. | 0,10 |
| Nitrogênio t. | 0,10 |
| Temperatura | 0,10 |
| Sólidos totais | 0,08 |
| Turbidez | 0,08 |

Dessa maneira, foram determinados intervalos de IQA (Tabela 2). São cinco intervalos de qualidade, sendo os dois primeiros quartis, intervalos de IQA entre 0 a 51, representantes de qualidade da água péssima e regular. Os dois intervalos seguintes, IQA entre 52 e 100, atribuem qualidade boa à ótima à água.

O presente trabalho utilizou o software *QualiGRAF*, desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) do Governo do Estado do Ceará, para calcular o IQA. Como a temperatura não foi medida em campo, ela foi estimada em 22°C. Duarte (2002) mediu a temperatura da água em três pontos, que variou entre 22,5°C e 22,7°C.

Tabela 2 – Intervalos de qualidade da água. [Fonte: CETESB, 2012].

| INTERVALOS de IQA | NÍVEL DE QUALIDADE |
|-------------------|--------------------|
| 79 < IQA ≤ 100 | Ótimo |
| 51 < IQA ≤ 79 | Bom |
| 36 < IQA ≤ 51 | Regular |
| 19 < IQA ≤ 36 | Ruim |
| IQA ≤ 19 | Péssimo |

3.5 MAPA DA QUALIDADE DA ÁGUA, DENSIDADE POPULACIONAL E ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA MICROBACIA

Os dados da densidade demográfica e do esgotamento sanitário da microbacia foram obtidos a partir dos setores censitários² do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011). Esses setores são organizados em uma malha digital por estados, disponibilizada gratuitamente pelo IBGE em extensão de arquivo vetorial com dados espaciais – *shapefile*. Os respectivos dados dos setores são organizados em planilhas de acordo com as características socioeconômicas da população. Esses arquivos foram unidos no software ArcGIS para elaborar os mapas de densidade populacional e esgotamento sanitário da microbacia.

A qualidade da água foi contextualizada com a densidade demográfica em um *Mapa de Qualidade da Água e Densidade Populacional*. O mapa permite relacionar o impacto decorrente das diferentes densidades na qualidade da água.

O mapa de esgotamento sanitário da microbacia considera as tipologias de escoamento do esgoto sanitário. As classes designadas pelo IBGE são: a) via rede geral; b) via fossa séptica; c) via fossa séptica rudimentar; d) via vala; e) via rio, lago ou mar; f) outro escoamento.

3.6 ANÁLISE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

A composição química dos elementos maiores e traço dos sedimentos de fundo foram determinados por meio da fluorescência de raios X (FRX). Para determinar a morfoscopia e a mineralogia foi utilizada lupa binocular na fração areia grossa e difração de raios X (DRX) nas frações FF > 63 µm e 2 µm. A caracterização granulométrica foi realizada pelo método de peneiramento a seco. Essas técnicas analíticas foram executadas no Centro de Pesquisa em Petrografia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências. Abaixo, são apresentados os protocolos analíticos aplicados nos sedimentos.

² O IBGE (2011) define um setor censitário como uma unidade territorial de controle cadastral da coleta de dados, constituída por áreas contínuas, com dimensões que obedecem à operação de coleta de dados.

3.6.1 Coleta e preservação das amostras

A coleta de sedimentos de fundo foi efetuada em dois pontos (P1B e P2) em dezembro de 2014. Em P3 e P4, onde foram procedidas às coletas de água em 2012, não foi possível coletar os sedimentos pelo risco de contaminação humana. A localização dos pontos comparece no quadro 1 e na figura 7.

Os sedimentos de fundo foram amostrados no centro da pequena seção transversal do arroio nos P1B e P2 e armazenados em frascos de polietileno, previamente tratados com HNO_3 0,1 N e enxaguados três vezes com água deionizada. Coletou-se 1kg de sedimentos por ponto para análises de DRX e FRX. Para a caracterização mineralógica, morfoscópica e granulometria, foram coletados cerca de 0,5 kg de material por ponto. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e levadas ao CPGq.

Além da coleta de sedimentos, foi medida a condutividade elétrica, o pH e a temperatura da água. Para tanto, utilizou-se os equipamentos pH-Metro Digital Portátil WTW 315i e Oxímetro Oakton Acorn 5, ambos calibrados com a supervisão do químico André Martins, do Laboratório de Geologia Isotópica (LGi) no dia anterior à saída de campo.

3.6.2 Preparação dos sedimentos de fundo

As amostras de sedimentos de fundo destinadas a DRX e FRX, foram transferidas para béqueres de vidro, secas em estufa (50°C) para posterior segregação a úmido das frações silte e argila ($\text{FF} < 63 \mu\text{m}$). Para tanto, utilizou-se uma peneira com malha de nylon de $63 \mu\text{m}$, encaixada em corpo de PVC, ambos foram previamente tratados com HNO_3 a 0,1N e água deionizada.

O método de segregação consistiu em peneirar os sedimentos com o uso de água deionizada e espátula de polietileno. A solução com finos coletada na base de PVC foi transferida para béqueres e secas em estufa (50°C). Após secas, as frações silte e argila foram homogeneizadas em graal de ágata e armazenadas em frascos com tampa para posterior análises. As amostras destinadas à caracterização granulométrica, morfoscópica e mineralógica, foram secas e armazenadas em sacos herméticos para posterior análise.

3.6.3 Análise Granulométrica

A análise granulométrica das frações a foi procedida pelo método de peneiramento a seco de acordo com Suguio (1973). Essa metodologia consistiu em combinar um conjunto de peneiras de malhas padronizadas com escalas de *Wentworth* (Figura 15). As peneiras foram encaixadas umas sobre as outras com as malhas aumentando de baixo para cima. Assim, o material que permanece nas peneiras são maiores que sua abertura. O material de cada intervalo da escala granulométrica foi pesado em balança (Figura 15). A quantidade de sedimentos finos foi inferior a 5%, desta maneira não foi feita a segregação a úmido para aplicação da Lei de Stokes.



Figura 15 – Processo de peneiramento à esquerda e pesagem dos sedimentos na balança à direita. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

3.6.4 Mineralogia e Morfoscopia em Lupa Binocular

A caracterização mineralógica e morfoscópica foram realizadas na fração areia grossa em lupa binocular no Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígnea. O objetivo consistiu em identificar as assembleias mineralógicas dos sedimentos de fundo nos pontos amostrados.

Krumbein e Sloss (1963) afirmaram que a análise morfoscópica da partícula é composta por dois grupos de parâmetros: de um lado, a esfericidade (relações de comprimento entre os 3 eixos a, b e c do grão); de outro, o arredondamento.

A esfericidade operacional foi definida por Wadell (1932 e 1933, *apud* KRUMBEIN & SLOSS, 1963) como a relação entre o volume da partícula (V_p) e o volume da esfera circunscrita (V_{ec}) (diâmetro da esfera= eixo a da partícula), por meio da fórmula:

$$\text{Esfericidade operacional} = \sqrt[3]{V_p / V_{ec}}$$

Porém, uma generalização qualitativa da equação foi realizada por Zingg (1935 *apud* KRUMBEIN & SLOSS, 1963), que classificou as formas de esfericidade em: tabular ou oblata (discoide); equidimensional (esferoide), laminar e prolata (cilindroide).

O arredondamento foi estabelecido por Wadell (1932, *apud* KRUMBEIN & SLOSS, 1963) como sendo a razão entre o raio médio do ângulo e lado da partícula em relação ao raio do maior círculo inscrito:

$$\text{Arredondamento} = \frac{\text{raio médio do ângulo e lado da partícula}}{\text{raio do maior círculo inscrito}}$$

Essa equação foi traduzida para uma tabela de estimativa visual por Powers (1956, *apud* KRUMBEIN & SLOSS, 1963), sendo de amplo uso na geologia. Já Tucker (2014) simplificou a tabela qualitativa para duas classes de esfericidade (alta e baixa) e seis classes de arredondamento, sendo utilizada neste trabalho.

3.6.5 Princípios e protocolos da difração de raios X

As técnicas de raios X são fundamentais para analisar estruturas cristalinas. Os minerais apresentam estrutura tridimensional ordenada que se repete ao longo dos eixos cristalográficos (KLEIN & DUTROW, 2012). De acordo com esses autores, quando um feixe de raios X atinge um cristal, faz com que os elétrons do arranjo vibrem com a mesma frequência incidente e reirradiem as ondas com frequência e comprimento de onda semelhante. Em determinadas direções, as ondas se reforçam, realizam interferências construtivas, em direções específicas para produzir um efeito de espalhamento cooperativo chamado de difração.

O efeito da difração resultante deve-se ao efeito de difração produzido por um número quase infinito de planos paralelos entre si quando um feixe de raios X incide num cristal (KLEIN & DUTROW, 2012). Cada plano contribui com uma pequena porção da máxima difração. Os picos são produzidos quando as reflexões estiverem em fase entre elas. As condições são estabelecidas, conforme demonstra a equação de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin\phi$$

Segundo Klein e Dutrow (2012, p. 338), “para um dado espaçamento interplanar (d) e um dado λ , ‘reflexões’ (máximos de difração) ocorrem somente naqueles ângulos ϕ que satisfazem a equação”. Dessa maneira, um feixe de raios X será refletido somente quando fizer um ângulo ϕ que satisfaça a equação de Bragg. Esse processo de difração é a base para as técnicas de raios X de pó e de monocristais. A intensidade de máxima difração é medida por um contador de raios X (ou detector) de alta precisão.

Essa metodologia permite que as partículas das amostras sejam orientadas aleatoriamente (KLEIN & DUTROW, 2012). A amostra rotaciona em direção ao feixe de elétrons, assim como um detector de raios X montado num braço que rotacional sobre a amostra para coletar os sinais de raios X difratados. A amostra e o detector são movimentados em engrenagens distintas de forma que, enquanto a amostra rotaciona por um ângulo ϕ , o detector rotaciona por 2ϕ . Os feixes refratados entram no detector, o pulso gerado é amplificado e ocasiona uma resposta eletrônica numa escala vertical que representa a altura do pico. Os ângulos 2ϕ nos quais as difrações ocorrem são lidos numa escala horizontal. Os espaçamentos interplanares que deram origem aos picos são calculados utilizando a equação de Bragg. Após obter o difratograma e os vários picos de difração tenham sido tabelados juntamente com suas intensidades relativas, é possível realizar a identificação dos minerais.

As análises foram realizadas no Laboratório de difração de raios X do Instituto de Geociências da UFRGS no difratômetro da Siemens – BRUKER-AXS D5000, com as seguintes especificações: tubo de Cobre, comprimento de onda $1,5422 \lambda$, 40kV e 25mA.

Os resultados das difrações obtidas foram comparados com o banco de dados do computador do laboratório (PDF2). A interpretação das análises é feita pelo programa *DIFFRAC^{PLUS}* em que os picos são indexados. O método dificilmente identifica estruturas cristalinas que ocorram em quantidades inferiores a 2% nas amostras analisadas.

Protocolo de preparação das amostras. As amostras de sedimentos de fundo foram previamente cominuídas no Aparelho *Pulverisette5*, marca *Fritsh*, conhecido como Moinho de Bolas, em condições de 300 rotações por minuto por 20 minutos. No Moinho, as amostras foram reduzidas a dimensões da ordem de 200 Mesh. As amostras foram separadas em duas alíquotas. Uma das alíquotas foi depositada em um porta amostra retangular rebaixado, a análise correspondente é dita Análise Rocha Total (RT). A segunda alíquota foi dissolvida em 500 ml de água deionizada e homogeneizada em orbitador. Em seguida, as amostras foram transferidas para recipientes de vidro com 6 ml de defloculante. As soluções decantaram por cerca de 5 horas, dessa forma as partículas superiores a 2 μm depositaram-se no fundo dos

recipientes. Parte das soluções foram sifonadas e depositadas em duas placas de vidro e secas em temperatura ambiente. Essas placas permitiram a análise da amostra natural, glicolada e calcinada.

3.6.6 Princípios e protocolos da fluorescência de raios X

Também conhecida como espectrografia de raios X foi utilizada para caracterizar os elementos químicos dos sedimentos de fundo. As amostras preparadas para análise foram prensadas em pastilhas com auxílio de um ligante. A pastilha é irradiada por raios X policromáticos gerados em tubos de raios X de alta intensidade (KLEIN & DUTROW, 2012). Os raios são absorvidos de acordo com a lei de Beer:

$$\log \frac{I_0}{I} = K_d \Delta d$$

Onde I_0 é a intensidade de raios X incidentes, I é a intensidade de raios X que não foi absorvida na amostra, K_d é a constante de proporcionalidade, e Δd é a espessura da amostra. A energia absorvida pela amostra gera um espectro de emissão de raios X que é característico para cada elemento na mostra (KLEIN & DUTROW, 2012). Segundo esses autores, no processo de absorção de raios X, os elétrons das camadas mais internas são deslocados e substituídos pelos elétrons da camada externa mais próxima. Os elétrons que substituem, deixam um nível de alta energia para baixa energia. Como resultado, emitem energia na forma de raios X. O fenômeno de emissão é chamado de fluorescência de raios X. Cada elemento químico emite linhas espectrais características, com comprimentos de onda (nm ou Å) específicos.

Protocolo de preparação das amostras. A fluorescência de raios X foi utilizada para determinação quantitativa dos elementos maiores (>1%) e traços dos sedimentos de fundo (FF <63µm). As condições das análises no aparelho Rigaku Modelo RIX 2000 foram 40 Kv e 20 mA. As amostras foram preparadas em duas pastilhas: a) vítrea; e b) prensada. A primeira destinou-se à análise de elementos maiores, sendo necessário 1g de amostra e 7g de tetraborato de lítio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$). E a pastilha prensada, para a análise de elementos-traço,

necessitou 5 g de amostra e 0,25 g de ácido bórico (H_3BO_3). A prensa Herzog, para preparar as pastilhas, operou com 30 toneladas por 2,5 minutos em cada pastilha.

3.6.7 Fator de Contaminação (FC)

Numerosos trabalhos propõem a utilização de índices e geoindicadores para evidenciar e discriminar a contaminação antrópica nos sedimentos, sobretudo nos meios urbanos. Os mais usuais são o Fator de Contaminação (FC) e o Índice de Geoacumulação (Igeo).

O **fator de contaminação** é definido como a relação entre a concentração medida no sedimento de fundo e a sua concentração no nível de base natural (TOMLINSON *et al.*, 1980 *apud* FÖRSTNER, 1989). O cálculo segue abaixo:

$$FC = \frac{Cn}{NBN}$$

Onde,

FC = fator de contaminação; **Cn**: concentração do metal medido no sedimento de fundo; **NBN**: background do metal na área de estudo.

3.6.8 Entendendo o Índice de Geoacumulação (Igeo)

O **índice de geoacumulação (Igeo)**, proposto por Müller (1979), avalia a contaminação antropogênica por metais acumulada em solos e em sedimentos de fundo. Esse importante índice relaciona, para cada elemento, a concentração medida nos sedimentos (*Me*) a uma concentração de referência (nível de base natural, *NBn*). Essa concentração natural deve ser estabelecida de acordo com as características litológicas da área de nível de base natural dos sedimentos. A escala logarítmica na base 2 permite que sejam representadas classes de variação da taxa de concentração de tal sorte que a classe imediatamente maior possui duas vezes mais concentração que a menor.

Para retirar contribuições de possíveis flutuações naturais das concentrações dos metais ou baixíssimas pressões antrópicas, Müller (1979) sugeriu que o NBn deva ser incrementado em 50%. Assim, deve-se multiplicar o denominador da fórmula pelo fator 1,5. Essa operação agrega um valor de segurança ao índice, de maneira que pequenas flutuações da concentração do metal nos pontos de coleta não induzam a classificar erroneamente o local como sendo contaminado. A relação matemática do Igeo é apresentada abaixo:

$$Igeo = \log_2 \frac{Cn}{1,5 \times NBN}$$

Onde, **Cn**: concentração medida do elemento na fração argila; **NBN**: nível de base natural (*background*) admitido.

Müller (1979) agrupou os resultados do Igeo em sete intervalos, onde a duplicação da relação $Me/1,5 \times NBN$ fornece o limite superior de cada classe, conforme o quadro 4.

Quadro 4 – Metodologia da elaboração dos intervalos de classe do Igeo. [Fonte: Müller, 1979, modificado por Rodrigues, 2015].

| Relação entre Me e 1,5xNBN | Igeo | Classe Igeo |
|----------------------------|------|--|
| $Me \ll 1,5 \times NBN$ | < 0 | Igeo 0. A relação resultará num número fracionário menor que 1,0. Nesse caso, o \log_2 desse valor (Igeo) resultará num número progressivamente inferior à zero na medida em que a concentração <i>Me</i> diminuir em relação ao denominador da fórmula. Esses valores menores que zero estabelecem a primeira classe do Igeo (<0). |
| $Me = 1,5 \times NBN$: | 0 | Limite inferior da classe Igeo 1 |
| $2Me/1,5 \times NBN$ | 1 | Limite superior da classe Igeo 1 |
| $4Me/1,5 \times NBN$ | 2 | Limite superior da classe Igeo 2 |
| ... | ... | ... |
| $64Me/1,5 \times NBN$ | 5 | Limite inferior da classe Igeo 6 |

Esse raciocínio foi aplicado até ser estabelecido o limite inferior da classe Igeo 6. O limite superior da classe Igeo 6 não foi estabelecido, uma vez que Müller (1979) observou em diversas investigações ambientais que os casos em que Igeo superam em 128 vezes o valor de $1,5 \times NBN$ são raros em águas superficiais. Sendo assim, a classe Igeo 6 é uma classe ascendente “em aberto”.

As sete classes de poluição (Tabela 3) representam assim níveis crescentes de poluição, sendo 0 para águas praticamente não poluídas e 6 para muito fortemente poluídas. A classe Igeo 6 representa um enriquecimento de no mínimo 64 vezes superior ao *background* multiplicado por 1,5 (ou 96 vezes o *background*).

Tabela 3 – Índice de geoacumulação (Igeo) de metais pesados nos sedimentos do Rio Reno e suas classes. [Fonte: Müller, 1979].

| INTENSIDADE DA POLUIÇÃO | Igeo | CLASSE Igeo |
|--------------------------------|-------------|--------------------|
| Muito forte | >5 | 6 |
| Forte a muito forte | 4 - 5 | 5 |
| Forte | 3 - 4 | 4 |
| Moderada a forte | 2 - 3 | 3 |
| Moderada | 1 - 2 | 2 |
| Pouco a moderada | 0 - 1 | 1 |
| Praticamente não poluído | < 0 | 0 |

3.7 NORMAS E VALORES DE REFERÊNCIA UTILIZADOS PARA ESTABELEECER A QUALIDADE DOS SEDIMENTOS

Os estudos de avaliação de qualidade de sedimentos de fundo em sistemas aquáticos têm utilizado diferentes normas e valores de referência baseados em resoluções definidas para estudos de solos. Devido à ausência de prescrições legais específicas para sedimentos, são utilizadas essas resoluções. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), ao reconhecer a necessidade de prevenção da contaminação do solo, por meio da Resolução 420/2009, estabeleceu valores orientadores que possibilitam diagnosticar a qualidade do solo (Quadro 5).

Quadro 5 – Valores que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo. [Fonte: Resolução CONAMA 420/2009]

| VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQ) | VALOR DE PREVENÇÃO (VP) | VALOR DE INTERVENÇÃO (VI) |
|--|---|--|
| Concentração de determinada subst. química que define a qualidade natural do solo. | Concentração limite de determinada subst., tal que ele seja capaz de sustentar suas funções principais. | Concentração de determinadas subst. acima da qual há riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana. |

A resolução citada acima estipula as concentrações para diferentes substâncias químicas em valores de referência VP e VI. Para o VRQ, o CONAMA determinou que os órgãos ambientais dos Estados estipulassem as concentrações. Dessa maneira, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM/RS), por meio da Lei nº 85/2014, estabeleceu VRQ para nove elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geológicas do RS, são eles: Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Co, V, Hg. No presente

trabalho, para estabelecer o VRQ das substâncias analisadas, foram adotadas as concentrações médias realizadas nas rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-Rio-Grandense (ESR) e nos depósitos sedimentares da Planície Costeira (PC) pela FEPAM (Lei nº 85/2014) uma vez que elas abrangem a área de estudo (Tabela 4).

Tabela 4 – Valor de referência de qualidade (VQR) nos elementos analisados nas rochas do ESR e da PC. [Fonte: Lei nº 85/2014, FEPAM]

| Elementos (mg.kg ⁻¹) | ESR | PC | VRQ |
|----------------------------------|-----|----|------|
| Zn | 31 | 33 | 32 |
| Cu | 9 | 37 | 23 |
| Cr | 40 | 27 | 33,5 |
| Ni | 12 | 11 | 11,5 |
| Pb | 18 | 27 | 22,5 |
| Co | 13 | 29 | 21 |

Para os elementos analisados nesse trabalho que estão ausentes da lista da FEPAM, como o Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y e Ga adotou-se as concentrações médias do Granito Santana (OLIVEIRA *et al.*, 2001) como o nível de base natural para calcular o Fator de Contaminação (FC) e o Índice de Geoacumulação (Igeo). Para o As, foram adotados os valores orientadores da Lista Holandesa, criada pelo Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda, em 1994.

A tabela 5 apresenta uma comparação entre as concentrações permitidas de acordo com cada prescrição legal citada acima, também apresenta as concentrações médias (Md) para os metais na litologia predominante na área de estudo, o Granito Santana (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

Tabela 5 – Comparação entre os valores orientadores das principais prescrições legais para metais nos sedimentos de fundo. [Fonte: FEPAM (2014), CONAMA (2009), OLIVEIRA *et al.* (2001)].

| METAIS | FEPAM [2014] | CONAMA [2009] | | Padrão Holandês [1994] | | | Oliveira <i>et al.</i> [2001] |
|--------|--------------|---------------|-------|------------------------|-----|-------|-------------------------------|
| | VRQ | VP | VI | VRQ | VP | VI | Md |
| As | - | 15 | 55 | 15 | 22 | 28 | - |
| Ba | - | 150 | 500 | 39 | 80 | 121 | 296,63 |
| Cr | 33 | 75 | 300 | 50 | 120 | 190 | 44,60 |
| Ni | 11 | 30 | 100 | 10 | 35 | 60 | 3,00 |
| Zn | 32 | 300 | 1.000 | 47,2 | 300 | 1.000 | 47,00 |
| Pb | 23 | 72 | 300 | 50 | 181 | 312 | 22,00 |
| Co | 21 | 25 | 65 | 4 | 29 | 53 | - |
| Cu | 23 | 75 | 300 | 15 | 47 | 79 | - |

VRQ: valor de referência de qualidade; **VP:** valor de prevenção; **VI:** valor de intervenção ou investigação; **Md:** concentrações médias no Granito Santana; **VI^R:** valor de intervenção para uso do solo residencial. (-) elemento não analisado.

Dessa maneira, o CONAMA definiu 4 classes de qualidade do solo, onde as concentrações dos contaminantes são crescentes nas classes de 1 a 4, sendo a classe 1 com valores mínimos e a classe 4 com valores máximos que exigem intervenções no ambiente a fim de recuperá-lo. Os limites das classes são apresentados no quadro 6.

Quadro 6 – Classes de qualidade de solo segundo as concentrações de substâncias químicas. VRQ: valor referência de qualidade. VP: valor de prevenção. VI: valor de investigação. [Fonte: Resolução CONAMA 420/2009].

| CLASSE 1 | CLASSE 2 | CLASSE 3 | CLASSE 4 |
|---------------------------|--|---|--|
| Concentrações \leq VRQ. | Pelo menos uma concentração \geq VQR e $<$ VP. | Pelo menos uma concentração \geq VP e $<$ VI. | Pelo menos uma concentração \geq VI. |

Essa classificação permite estabelecer procedimentos de prevenção e controle da contaminação, de maneira que:

- a) **Classe 1:** não requer ações;
- b) **Classe 2:** pode requerer uma investigação da fonte potencial de contaminação e avaliação de ocorrência natural da substância. Avaliar a implementação de ações preventivas de controle.
- c) **Classe 3:** requer identificação da fonte potencial de contaminação e avaliação de ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea.
- d) **Classe 4:** requer ações específicas de gerenciamento de áreas contaminadas com o objetivo de eliminar o perigo ou minimizar o risco à saúde humana e ao meio ambiente.

3.8 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS

As características socioeconômicas da população a montante dos pontos amostrados no curso d'água são apresentadas em um quadro comparativo de acordo com dados do recenseamento do IBGE de 2000 (*sensu* LOPEZ, 2011). O objetivo é analisar as características da população que mora em cada região geomorfológica da microbacia (região das nascentes, porção intermediária e porção superior).

3.9 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O mapeamento de uso e ocupação do solo foi realizado a partir de interpretação visual em imagem adquirida no *Google Earth Pró* e, posteriormente, georreferenciada e vetorizada com o software *ArcGIS*. Foram definidas as seguintes classes (Quadro 7):

Quadro 7 – Classes de uso e ocupação do solo das margens do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| | |
|--------------------------------------|---|
| Residência | Vegetação remanescente: mata alta e baixa |
| Solo Exposto | Vegetação remanescente: campo |
| Via pavimentada | Vegetação urbana: arbórea |
| Via não pavimentada | Vegetação urbana: gramado |
| Vegetação remanescente: mata ripária | |

O resultado do mapeamento das unidades mapeadas a partir da imagem de satélite é apresentado em alguns quadros comparativos na figura 16. Para o segmento intermediário e da foz, o mapeamento ocorreu em 50 metros em cada lado das margens. No entanto, na região de nascentes, foram mapeados os usos do solo nas encostas dos morros.

3.7.1. Georreferenciamento

O processo de georreferenciamento objetiva inserir um sistema de projeção de coordenadas em imagens de satélite por meio de técnicas de geoprocessamento (MENESES & ALMEIDA, 2012). Nesse sentido, foram adquiridas imagens da região da microbacia do arroio Moinho no software *Google Earth Pro* (versão de avaliação) – com resolução espacial de 1,65 m no modo multiespectral. As imagens foram georreferenciadas no software *ArcGIS 9.3* por meio da identificação de pontos de referencia de fácil identificação e reconhecimento (ex. cruzamento de ruas) em imagem do *Google Earth*.



Figura 16 – Estrutura da metodologia utilizada para gerar o Mapa de Uso e Ocupação do Solo das Margens do Arroio Moinho a partir de imagens de satélite. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015.]

3.10 MAPA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL DAS MARGENS DO ARROIO MOINHO

Os diagnósticos da qualidade da água e dos sedimentos, associados com a análise do uso e ocupação do solo nas margens foram integrados para fins de elaboração de um mapa que tipificou zonas de conservação das margens do arroio. Diante do panorama apontado pelos diagnósticos, o objetivo de propor um zoneamento é:

- a) estabelecer, pelo menos, alguns usos combinados que podem ajudar a conservar áreas que ainda possuem algumas características naturais;
- b) ajudar a estabelecer um uso ou ocupação que melhore as condições ambientais;
- c) contribua para tornar um arroio um elemento urbano de importância vital para a comunidade; e

d) incentive o estabelecimento de áreas de vivência comunitária.

Dentre as zonas propostas, encontram-se:

1. **Zona de alto risco:** definida como a área que se encontra no leito do canal considerando-se o nível de inundação.
2. **Zona de parque linear e de vivências:** áreas que possuem ainda algumas características naturais e/ou que proporcionem a implantação de áreas recreativas e/ou de vivência e/ou de encontros ecumênicos de sorte a favorecer a integração do arroio á cultura comunitária local.
3. **Zona de amortecimento:** definida como uma área de congelamento da ocupação atual imediatamente anterior à região de nascentes.
4. **Zona de proteção ambiental:** corresponde à região de nascentes e topos de morros onde ainda se encontram remanescentes importantes da vegetação natural. Nessa zona, as áreas degradadas devem ser renaturalizadas e, quando possível, podem-se implantar trilhas de visitação e fruição da paisagem, higienização e remoção de resíduos sólidos.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA ÁGUA

Os resultados das análises da água do Arroio Moinho encontram-se sumarizados na tabela 6, na qual se relacionam, para efeito de comparação, os limites das classes de qualidade da água doce estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA. As três primeiras colunas da Tabela 5 mostram os limites dos parâmetros analisados para as Classes 1, 2 e 3 e, as demais colunas, apresentam os resultados dos pontos amostrais de 1 a 4 (P1 a P4).

Tabela 6 – Parâmetros analíticos dos pontos amostrados no arroio Moinho e limites das classes de qualidade da água [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015; Resolução 357/2005, CONAMA].

| PARÂMETROS E UNIDADES | CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA | | | PONTOS AMOSTRADOS | | | |
|---|------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | P1 | P2 | P3 | P4 |
| OD mg.O ₂ .L ⁻¹ | >6 | >5 | >4 | 1,18 | 0,00 | 0,00 | 1,08 |
| DBO mg.O ₂ .L ⁻¹ | ≤3 | ≤5 | ≤10 | 400 | 100 | 150 | 100 |
| pH | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 7,07 | 7,12 | 6,97 | 7,11 |
| CF E. NMP.100ml ⁻¹ | 200 | 1.000 | 4.000 | >2,4 ^a | 1,4 ^b | 910 ^b | >2,4 ^a |
| Fósforo t. ¹ mg.L ⁻¹ | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 4,87 | 1,70 | 2,17 | 2,38 |
| Nitrogênio t. ² mg.L ⁻¹ | 3,70 | 3,70 | 13,3 | 39,33 | 16,77 | 21,53 | 27,23 |
| Sólidos t. mg.L ⁻¹ | 500 | ≤500 | ≤500 | 472 | 374 | 322 | 432 |
| Turbidez NTU | ≤40 | ≤100 | ≤100 | 30,3 | 25,5 | 18,5 | 33,3 |
| Alumínio t. mg.L ⁻¹ | ≤0,1 | ≤0,10 | ≤0,20 | 0,398 | 0,221 | 0,198 | 0,214 |
| Arsênio t. mg.L ⁻¹ | ≤0,01 | ≤0,01 | 0,033 | * | * | * | * |
| Chumbo t. mg.L ⁻¹ | 0,01 | 0,01 | 0,033 | * | 0,012 | * | * |
| Fenóis mg.L ⁻¹ | 0,003 | 0,003 | 0,01 | 0,003 | 0,003 | 0,006 | * |

DBO: demanda bioquímica por oxigênio. **OD:** oxigênio dissolvido. **pH:** potencial hidrogeniônico. **t:** total (is). **CF E.:** coliformes fecais *Escherichia coli*. (¹) ambientes lóticos e distributários de ambientes intermediários. (²) Kjeldahl em pH ≤7,5. NMP: número mais provável em 100 ml. * não detectado. (^a) multiplicado por 10⁶. (^b) multiplicado por 10³.

Salienta-se que, segundo instruções do CONAMA, basta haver um parâmetro em um ponto amostral que não se enquadre nos limites estabelecidos em uma determinada classe, para que as águas sejam classificadas em um nível inferior de qualidade. Quando os níveis de contaminação da água são superiores àqueles previstos pela classe 3, diz-se que a mesma está fora de classe, de maneira que as águas analisadas não podem ser destinadas para tratamento para posterior abastecimento público.

Demanda bioquímica de oxigênio. Os maiores aumentos em termos de DBO num corpo d'água são provocados pelo lançamento de cargas orgânicas. Os resultados desse parâmetro revelaram valores entre 100, em P2 e P4, e 400 mg.O₂.L⁻¹, em P1, conforme mostra a figura 17. As análises superaram de 10 a 40 vezes a concentração máxima permitida pela classe 3.

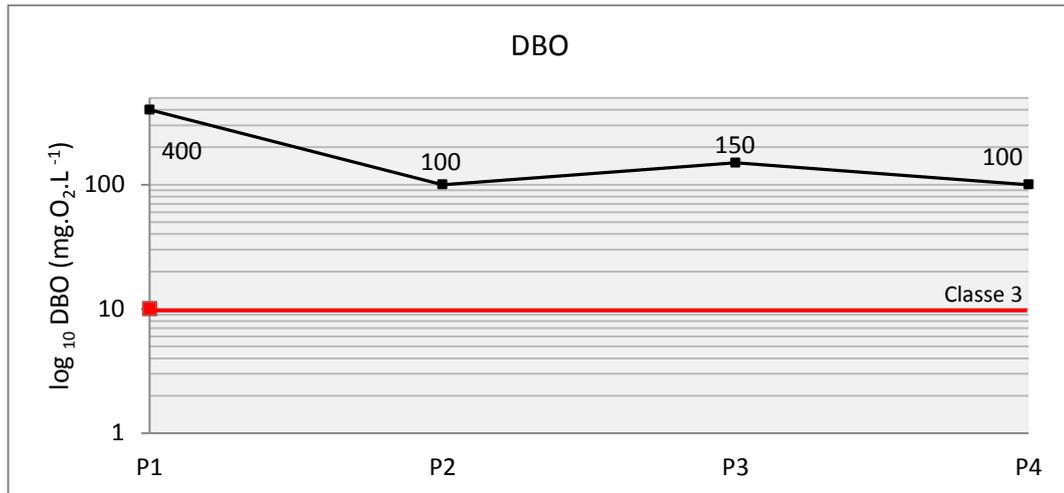


Figura 17 – Gráfico da DBO nos pontos amostrados. A linha vermelha representa a DBO máxima admitida pela classe 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

Oxigênio Dissolvido. O oxigênio dissolvido na água é consumido pelos organismos nos seus processos metabólicos. As concentrações desse parâmetro encontram-se abaixo da concentração permitida pela classe 3 (Figura 18), com teores entre 0, em P2 e P3, e 1,18 mg.O₂.L⁻¹, em P1.

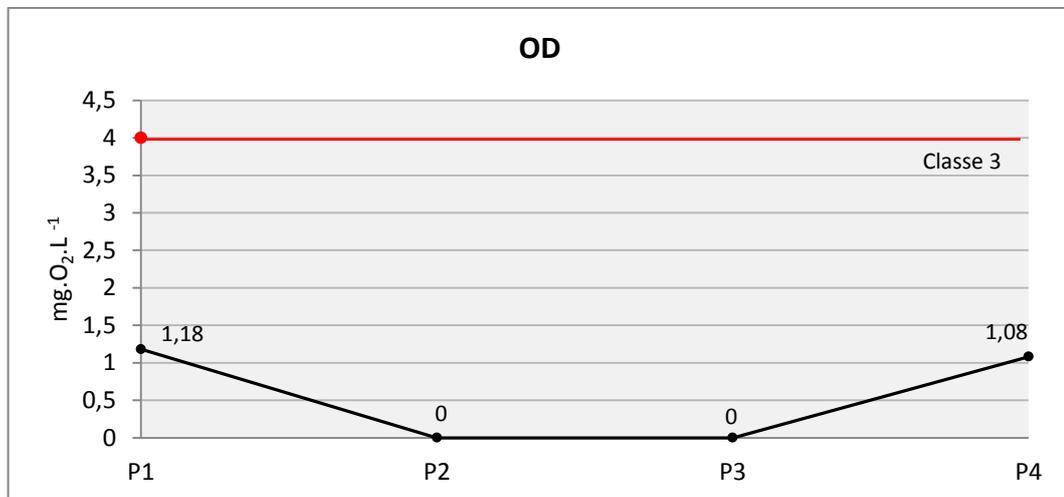


Figura 18 – Gráfico das concentrações de OD. A linha vermelha representa o limite inferior, 4 mg.O₂.L⁻¹, admitido pela classe 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

Nitrogênio e fósforo. Os valores de nitrogênio total variaram de 16,77 (em P2) a 39,33 mg.L⁻¹ (em P1). Para o fósforo total, variaram de 1,70 (em P2) a 4,87 mg.L⁻¹ (em P1) (Figura 19). A contribuição diária *per capita* (g/hab/dia) para o nitrogênio total é de 6 a 10, enquanto que para o fósforo total, é de 0,7 a 2,0 em esgoto bruto. As concentrações usualmente encontradas no Brasil, de acordo Sperling *et al.* (2009) é de 35 a 60 para o nitrogênio, e de 4 a 12 para o fósforo.

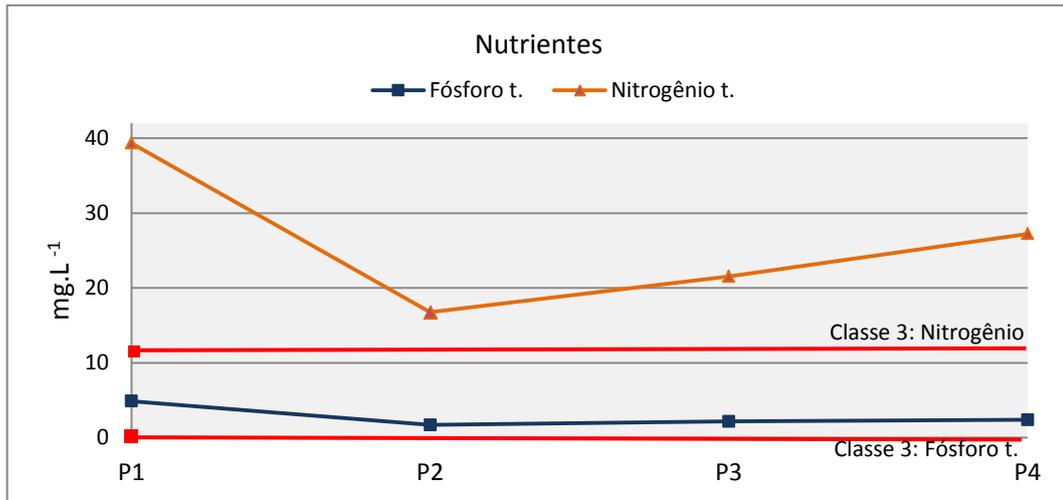


Figura 19 – Concentrações de nutrientes, as linhas vermelhas representam o limite máximo de nitrogênio e fósforo para a classe 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

Coliformes fecais *E. coli*. A maioria das doenças associadas à água é transmitida por organismos patogênicos eliminados pelas fezes. Mananciais com alta carga de efluentes domésticos são fonte potencial de contaminação para a população ribeirinha. Os resultados demonstraram altos valores desses organismos, distribuindo-se de 1,4 mil (em P2) a valores superiores a 2,4 milhões NMP.100 ml⁻¹(em P1 e P4) (Figura 20).

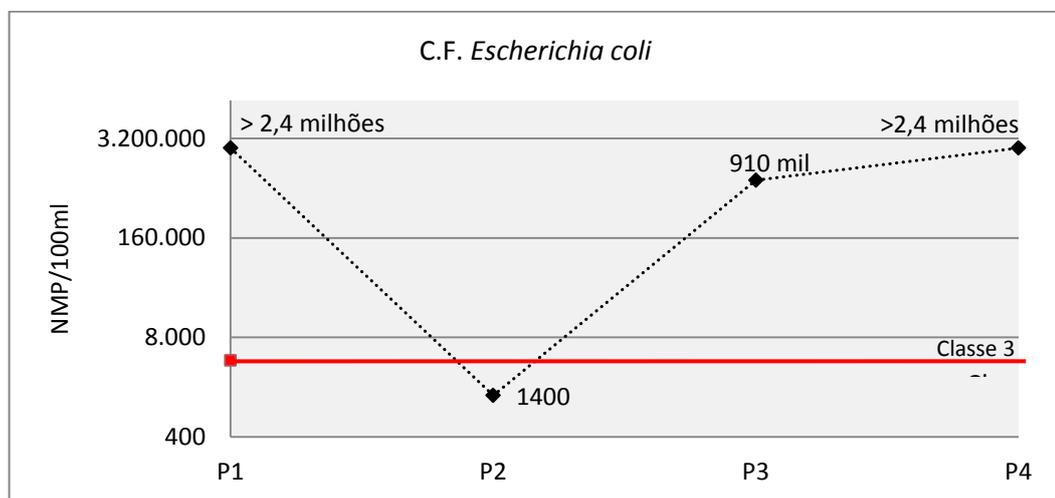


Figura 20 – Contaminação orgânica expressa pelos Coliformes Fecais *E. coli*. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

pH. Em águas naturais, o pH situa-se na faixa de 7. Nos pontos amostrados, os valores de pH ficaram entre 6,97 a 7,12 (Figura 21). Conclui-se que os valores oscilam próximo ao pH 7.

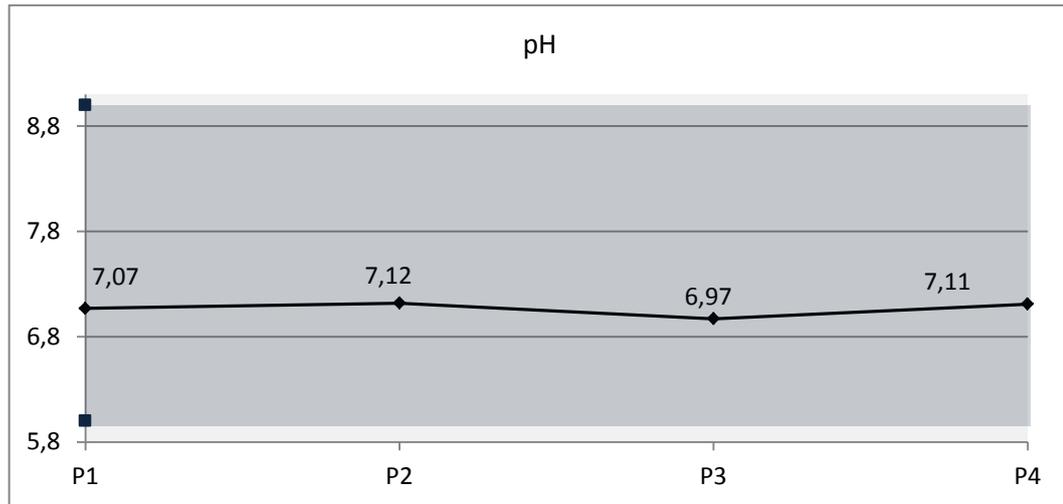


Figura 21 – Valores de pH nos pontos amostrados, os resultados estão dentro do intervalo de pH para águas classe 1, 2, 3 e 4. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

Sólidos totais. Compreendem sólidos dissolvidos e em suspensão. Os valores de sólidos totais medidos variaram de 322 mg.L⁻¹ (em P3), a 472 mg.L⁻¹ (em P1), conforme mostra a figura 22.

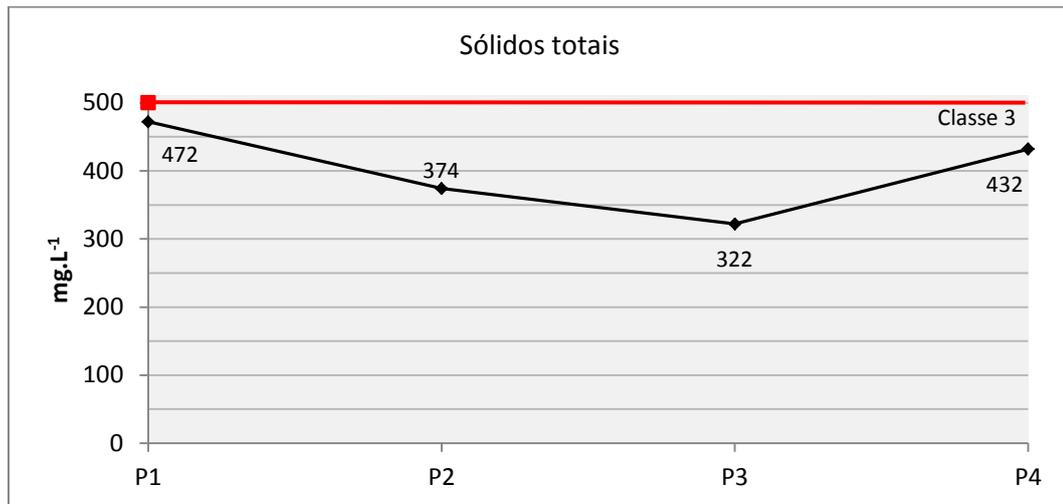


Figura 22 – Gráfico dos valores de sólidos totais em mg.L⁻¹ nos pontos amostrais P1, P2, P3 e P4. A linha vermelha representa o limite máximo da turbidez admitido pelas classes 2 e 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

Turbidez. Esse parâmetro reflete a quantidade de partículas dissolvidas na água, é inferida pela passagem de luz na amostra. De acordo com Libânio (2010), a turbidez natural de águas superficiais geralmente compreende o intervalo de 3 a 500 UNT. A turbidez medida nos pontos amostrais oscila entre 18,5 em P3 a 33,3 UNT em P4 (Figura 23).

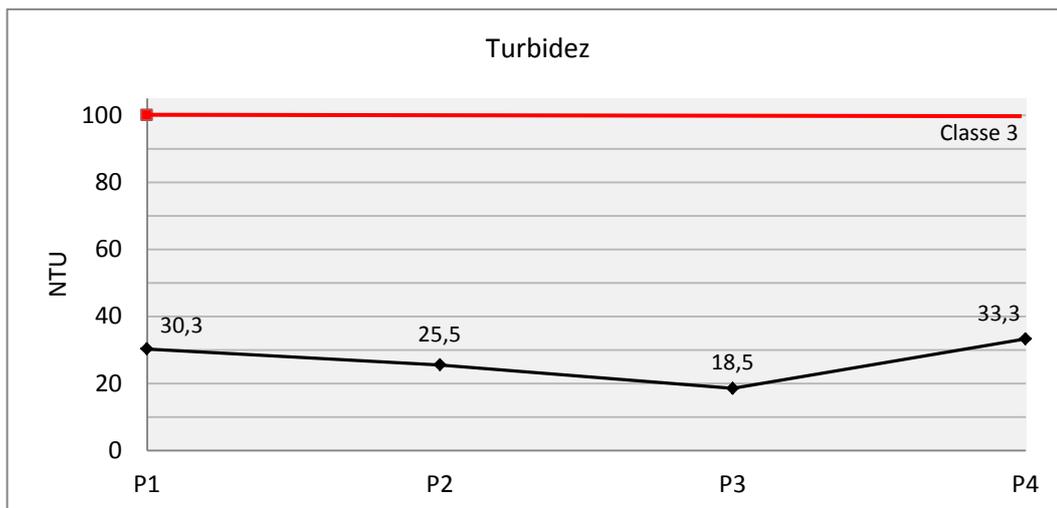


Figura 23 – Gráfico dos valores de turbidez em unidade nefelométrica de turbidez (NTU) nos pontos amostrais P1, P2, P3 e P4. A linha vermelha representa o limite máximo da turbidez admitida pelas classes 2 e 3. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

De acordo com as diretrizes da Resolução 357/2005, os quatro pontos amostrados (P1, P2, P3 e P4) apresentam valores superiores aos limites da classe 3 para os parâmetros DBO, OD, fósforo e nitrogênio e coliformes *E. coli* (exceto em P2). Dessa forma, os pontos amostrados foram classificados como *fora de classe*. Deve-se considerar que tanto as águas classificadas como 3 e as que apresentam valores superiores ao limite dessa classe, são impróprias para serem destinadas ao abastecimento e são potencialmente transmissoras de doenças de veiculação hídrica.

As medidas expeditas feitas na segunda atividade de coleta, a condutividade, a temperatura e pH são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Temperatura, pH e condutividade elétrica medidos *in situ* nos pontos de amostragem. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]

| Parâmetros | Unidades | P1B | P2 | P3 | P4 |
|------------------------|----------|------|------|------|------|
| Temperatura | °C | 24,1 | 24,7 | 26,1 | 27,1 |
| pH | - | 7,10 | 7,70 | 7,6 | 7,54 |
| Condutividade elétrica | µS | 421 | 304 | 371 | 482 |

Temperatura. De acordo com Libânio (2010), o intervalo de temperatura de águas naturais em países tropicais é de 20 a 25°C. Nas amostras analisadas, as temperaturas de P3 e P4 superaram essa faixa em 1,1°C e 2,0°C, respectivamente.

Condutividade elétrica. Em mananciais com altas cargas orgânicas, sejam elas lançadas por residências ou por indústrias, a condutividade pode atingir até 1.000 μm . A variação da condutividade das amostras é de 421 (P1B) a 482 μS (P4).

4.2 RESULTADO DO IQA

Os parâmetros e seus respectivos valores utilizados no cálculo do IQA são apresentados na Tabela 8. Como não foi possível medir a temperatura da água nos pontos amostrados, para estimar o IQA, a temperatura foi estimada tendo como base as medições realizadas por Duarte em 2002. Assim, a temperatura foi estimada em 22°C para os quatro pontos. O programa *QualiGRAF* calculou a saturação de oxigênio a partir da concentração de OD.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros utilizados para estabelecer os IQA nos pontos amostrais. Os IQA são demonstrados na ultima coluna. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]

| | H m | T °C | OD % | Turb NTU | pH | DBO mg.L ⁻¹ | PO ₄ mg.L ⁻¹ | N mg.L ⁻¹ | ST mg.L ⁻¹ | CF * |
|----|--------|---------|---------|-------------|------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| P1 | 165 | 22,0 | 13,69 | 30,30 | 7,07 | 400 | 4,87 | 39,33 | 472 | 2,4x10 ⁶ |
| P2 | 102 | | 0,00 | 25,5 | 7,12 | 100 | 1,7 | 16,77 | 374 | 1,4x10 ³ |
| P3 | 43 | | 0,00 | 18,5 | 6,97 | 150 | 2,17 | 21,53 | 322 | 910x10 ³ |
| P4 | 30 | | 12,33 | 33,3 | 7,11 | 100 | 2,38 | 27,23 | 432 | 2,4x10 ⁶ |

H: altitude. **T:** temperatura. **Turb:** turbidez. **pH:** potencial hidrogeniônico. **N:** nitratos totais. **ST:** sólidos totais. **CF:** coliformes fecais. (*) NMP em 100 ml.

Os resultados do cálculo do IQA são mostrados na tabela 9, abaixo:

Tabela 9 – Índice de qualidade da água dos pontos amostrados. [Fonte: Dados da Pesquisa].

| PONTOS | IQA | NÍVEL DE QUALIDADE |
|--------|-----|--------------------|
| P1 | 14 | Péssimo |
| P2 | 18 | |
| P3 | 13 | |
| P4 | 15 | |

De acordo com os resultados obtidos, os pontos amostrados no arroio Moinho apresentaram índices de qualidade da água estimados entre 13 (em P3) a 18 (em P2). Assim, verifica-se qualidade da água péssima nos quatro pontos analisados, esse nível de qualidade é causada

pelo lançamento de efluentes domésticos e pelos baixos valores de vazão do arroio Moinho de acordo com as medidas de Duarte (2002).

4.3 MAPAS DA QUALIDADE DA ÁGUA, ESGOTAMENTO SANITÁRIO E DE DENSIDADE DEMOGRÁFICA

O mapa da densidade demográfica da microbacia arroio Moinho (Figura 25) foi elaborado com base nos dados censitários do IBGE do ano 2010. Nele, distribuem-se seis classes de densidade demográfica. Na região das nascentes, situam-se as duas classes de menor densidade (Abaixo de 1.500 hab/km e de 1500 a 5.000). De forma inusitada, na zona intermediária do arroio, ocorrem as classes de maiores densidades. Duas áreas chamam a atenção: uma situada na margem direita (próximo a P3), logo após a confluência do afluente leste, cuja densidade é acima de 15 a 20 mil hab/km²; e, a outra, situada logo mais a norte (próximo a P1), porém na margem esquerda, com densidade superior a 20 mil hab/km². A primeira área corresponde ao lugar chamado de “Campo da Tuca”, onde também se localiza o ponto amostral P3. Na região da foz, distribuem-se classes de menor densidade, de forma inesperada, pois a urbanização nessa região é a mais antiga da microbacia e também é a mais urbanizada, onde se situa o ponto amostral P4. A ocorrência de classes de menor densidade nessa região explica-se pelo fato de ali se localizar o campus da PUC e também porque os edifícios possuem poucos andares, em geral de 2 a 4. Além disso, na região do entorno da área chamada “Campo da Tuca”, localizam-se diversos condomínios, de prédios baixos e com áreas verdes, resultando em áreas de menor densidade (5 a 10 mil hab.km²).

Desse modo, o ponto amostral P1, localizado na região das nascentes, recebe forte influência da área de maior densidade populacional situada na margem direita do arroio (assinalada pela seta branca próxima ao P1 na Figura 25). Assim como, o ponto P3 que, além de acumular a possível contaminação dos segmentos a montante, também recebe forte influência das densas áreas habitadas imediatamente na margem (assinalada pela seta branca próxima ao P3 na Figura 25).

A péssima qualidade da água no arroio, pode ser melhor entendida quando analisamos o Mapa dos tipos de Esgotamento Sanitário da Microbacia do Arroio Moinho (Figura 26). Esse mapa apresenta a distribuição dos tipos de escoamento sanitário conforme as seguintes classes: a) via rede geral; b) via fossa séptica; c) via fossa séptica rudimentar; d) via vala; e) via rio, lago ou mar; f) outro escoadouro.

Segundo os dados do DMAE (BENDATI *et al.*, 2006), há rede de coleta separada de esgoto apenas na região da foz e em pequena porção do segmento intermediário da microbacia. Nas demais regiões, contudo, o esgoto é coletado na rede mista, quer dizer, no arroio, em fossas sépticas ou lançado em valas. Assim, o mapa de esgotamento sanitário permite reconhecer que na região da foz há a uma leve predominância de coleta por meio da rede geral de esgoto. Porém, na região intermediária e das nascentes, há uma predominância significativa (em torno de 70%) de lançamento do esgoto no arroio ou em valas que acabam escoando para o arroio. Pelo diagnóstico de campo (Figura 24), entende-se que a classe “outro escoadouro”, que predomina na região intermediária e de nascentes, representa, na verdade, escoamento em valas e valetas a céu aberto.



Figura 24 – Vala a céu aberto por onde escoa a chuva e também o esgotamento, evidenciado pela cor escura da água.

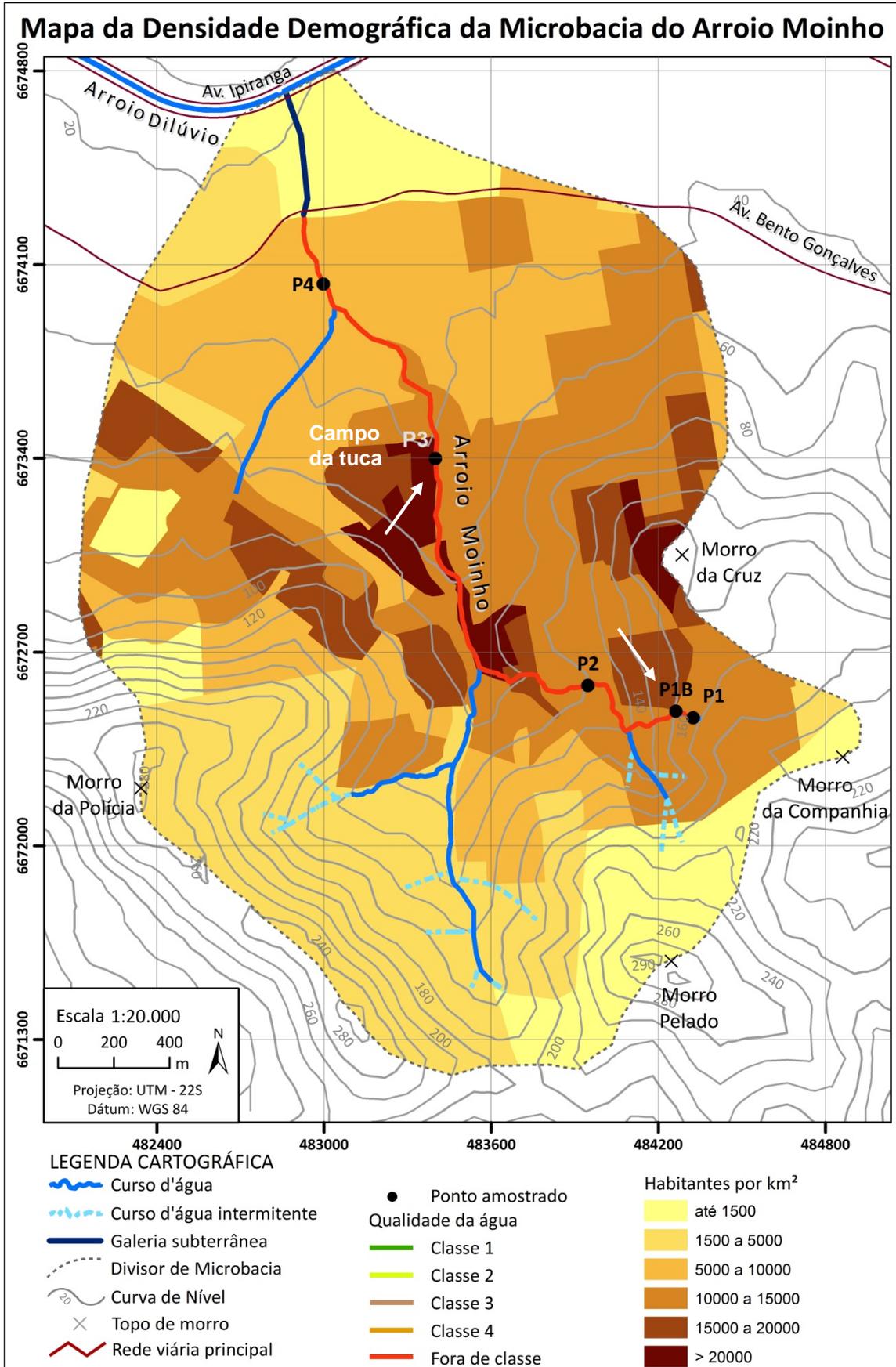


Figura 25 – Mapa da densidade demográfica e qualidade da água do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa].

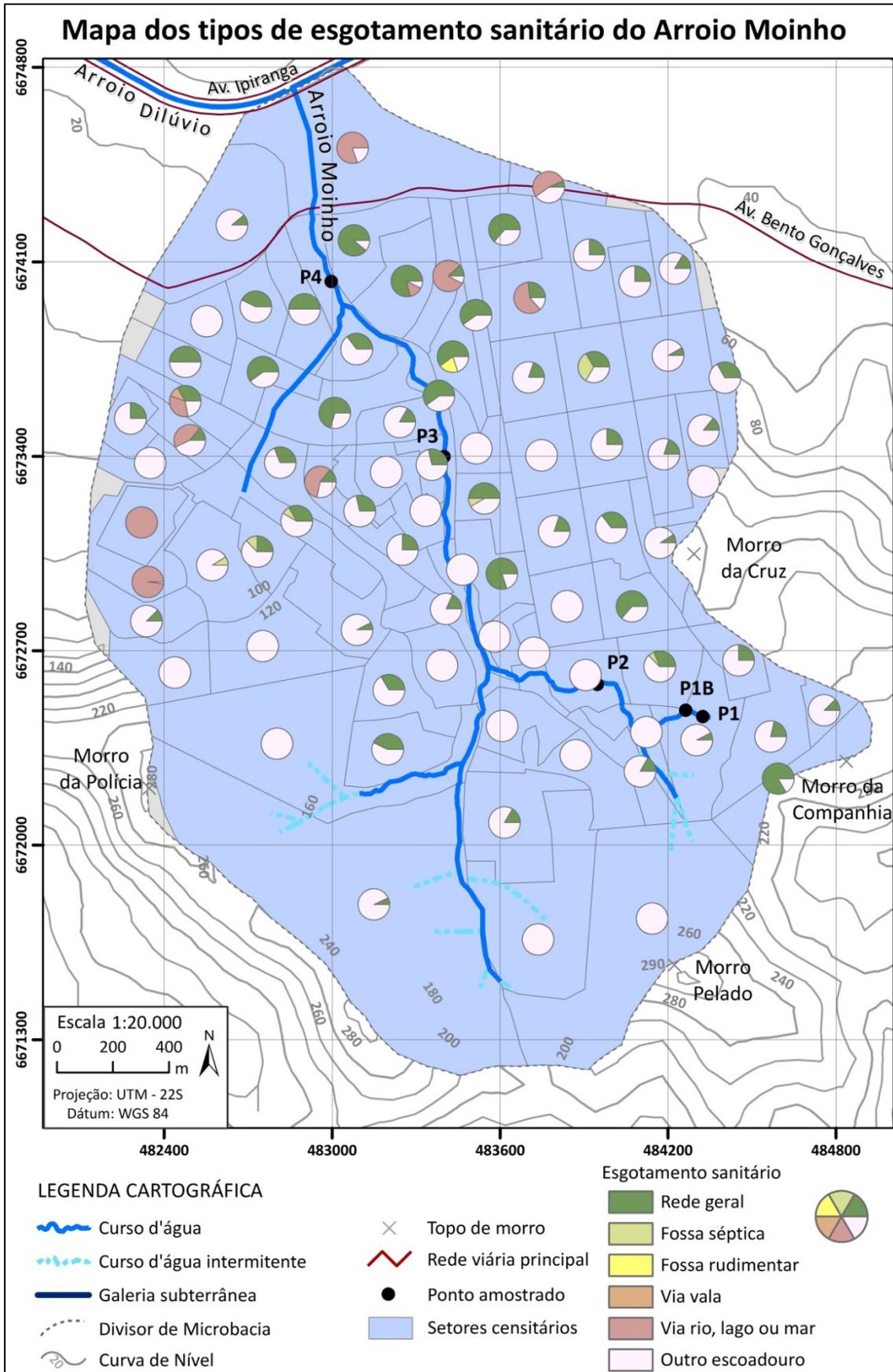


Figura 26 – Mapa de esgotamento sanitário da microbacia do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

4.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

4.4.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica é fundamental para ter-se compreensão sobre os processos ocorrentes nos sistemas aquáticos porque permitem estimar a capacidade dos sedimentos de reterem os poluentes. Quanto menor são as partículas, maior é sua capacidade de retenção dos contaminantes de acordo com o crescimento da área superficial específica (Tabela 10). É sabido que as argilas em geral têm uma grande capacidade de retenção de metais pesados e outros elementos, assim como a matéria orgânica (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

Tabela 10 – Relação entre área superficial específica (ASE) de algumas frações granulométricas e argilominerais. [Fonte: Dejou, 1987 *apud* Bortoluzzi & Petry, 2008].

| Fração | Diâmetro mm | ASE (m ² .g ⁻¹) | | |
|-----------------|--------------|--|----------|-----------|
| | | Interna | Externa | Total |
| Areia Grossa | 2 – 0,2 | 0 | 0,08 | 0,08 |
| Areia Fina | 0,2 – 0,5 | 0 | 0,32 | 0,32 |
| Silte | 0,05 – 0,002 | 0 | 0,45 | 0,45 |
| Argila | < 0,002 | 50 | 750 | 800 |
| Caulinita | – | 0 | 10 – 30 | 10 – 30 |
| Illita | – | 20 – 55 | 80 – 120 | 100 – 175 |
| Montmorillonita | – | 600 – 700 | 100 | 700 – 800 |
| Vermiculita | – | 600 | 40 – 100 | 700 |

Os elementos metálicos se concentram nos sedimentos de fundo em sistemas aquáticos e a sua acumulação é atribuída aos processos de adsorção e coprecipitação sobre a superfície das partículas (MOORE *et al.*, 1989 *apud* TEIXEIRA, 1996). Assim, buscou-se analisar a porcentagem da fração fina para relacioná-la com a capacidade que o arroio Moinho apresenta de reter a contaminação. O resultado da análise granulométrica é apresentado na tabela 11 e na figura 27.

Tabela 11 – Resultado da análise granulométrica dos sedimentos de fundo dos pontos amostrados no arroio Moinho expressos em %. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| Pontos | Sx, Gr e Ar _{mg} FF>1 mm | Areia | | | | St e argila FF< 0,62 µm |
|--------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| | | A _g | A _m | A _f | A _{mf} | |
| P1B | 77,47 | 13,79 | 6,99 | 1,49 | 0,16 | 0,10 |
| P2 | 92,92 | 5,09 | 1,31 | 0,30 | 0,17 | 0,21 |

A fração fina nos pontos amostrados P1B e P2 apresenta porcentagem inferior a 1%. Predomina a fração FF> 1 mm em ambas as amostras, correspondendo a 77,47% para amostra P1B e 92,92% para P2 (Figura 27).

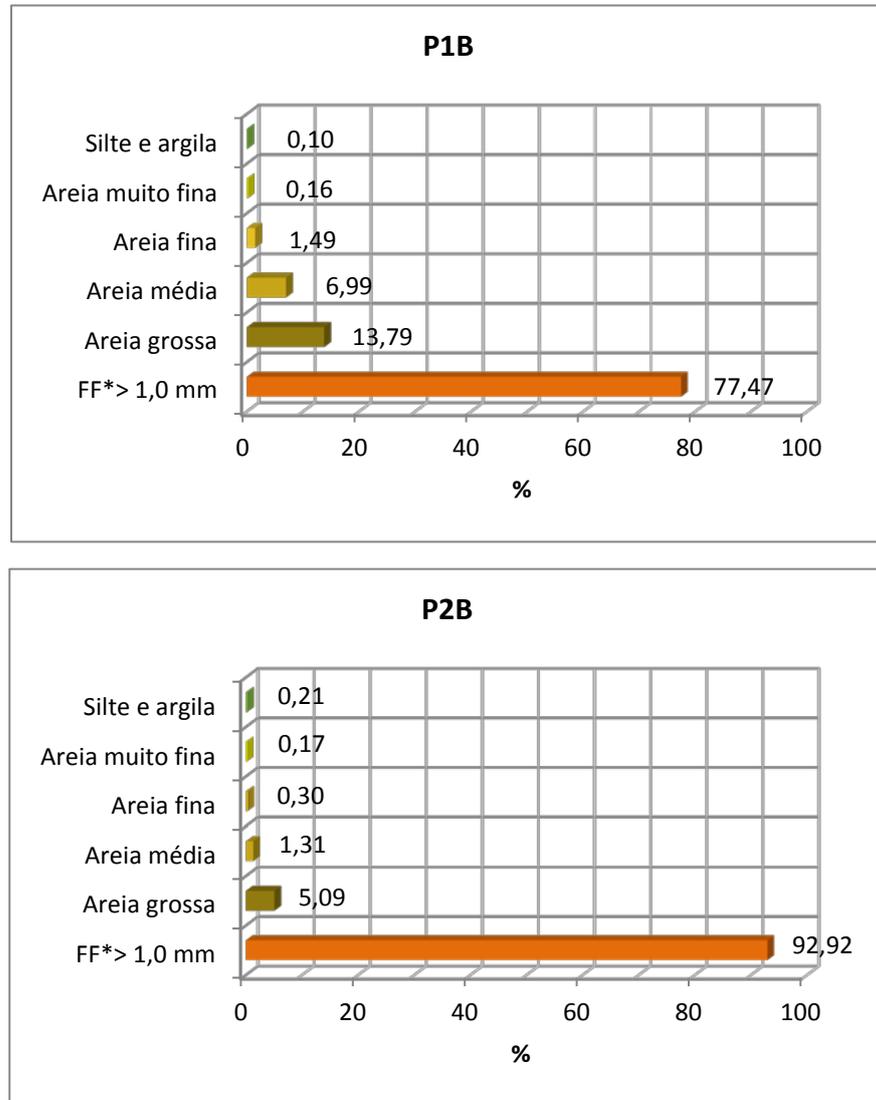


Figura 27 – Gráfico em barras dos resultados das análises granulométricas dos sedimentos de fundo do arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

4.4.2 Mineralogia em Lupa Binocular e Morfoscopia

A análise granulométrica e morfoscópica são correlacionadas Figura 28. A assembleia mineralógica encontrada em ambas as amostras foi feldspatos, quartzo e biotita. As contagens, 80 pontos por fotografia, e a análise morfoscópica foram efetuadas na fração areia grossa.

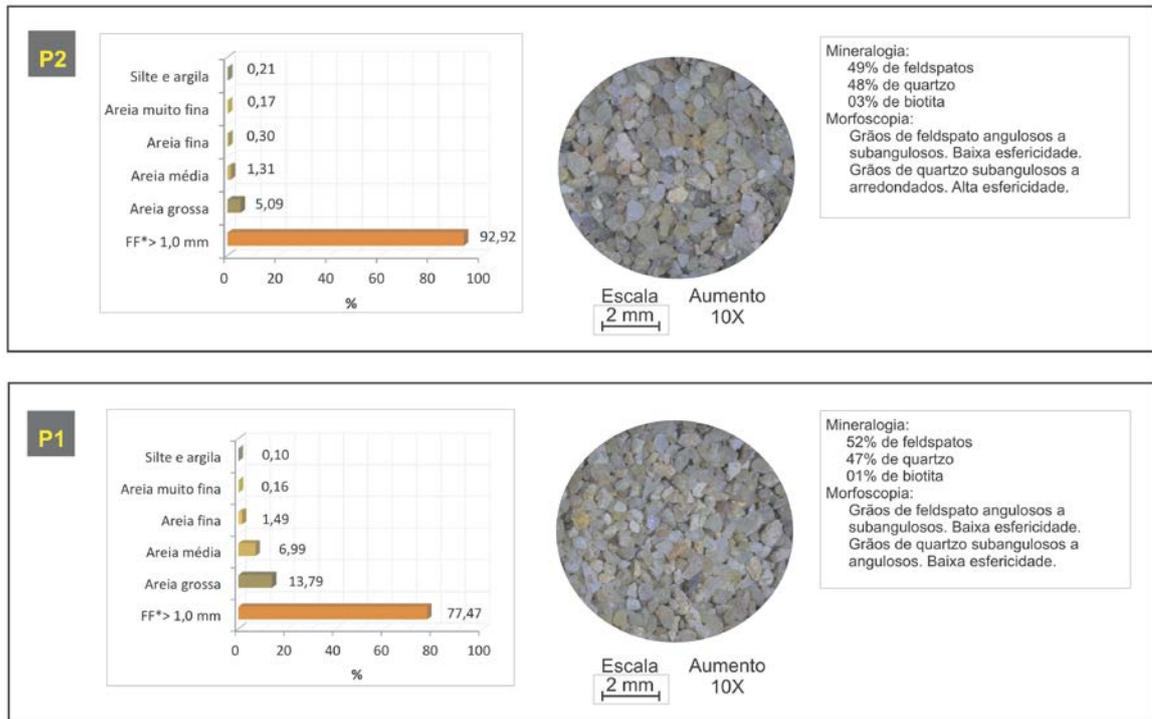


Figura 28 – Resultado da distribuição granulométrica, análise mineralógica e morfoscópica para os dois pontos estudados. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

4.4.3 Difração de Raios X

Os difratogramas de raios X do pó das amostras P1B e P2 são apresentados na figura 29. A análise dos resultados em rocha total mostra a mesma assembleia mineralógica para os dois pontos amostrais. Os minerais identificados, K-feldspato, plagioclásio, quartzo e caolinita são os mesmos descritos por Oliveira *et al.* (2001), confirmando a composição mineralógica do Granito Santana, litologia que predomina na região. Salienta-se que a análise em lupa binocular identificou os mesmos minerais. Já os resultados obtidos na fração $FF < 2 \mu\text{m}$ nas preparações natural, glicolada e calcinada permitiram identificar o mesmo argilomineral para ambas as amostras, ou seja, a caolinita (Figura 30).

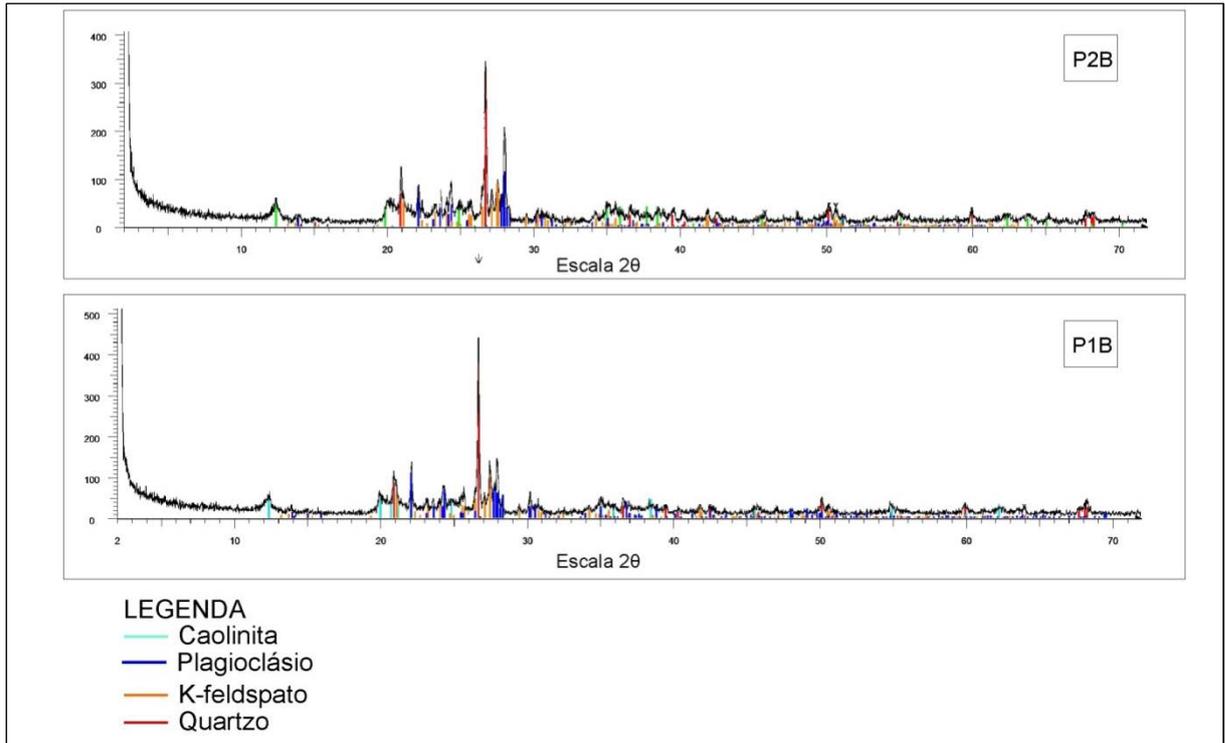


Figura 29 – Difratoformas de raios X em rocha total na fração FF < 63 μm dos sedimentos de fundo das amostras P1B e P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

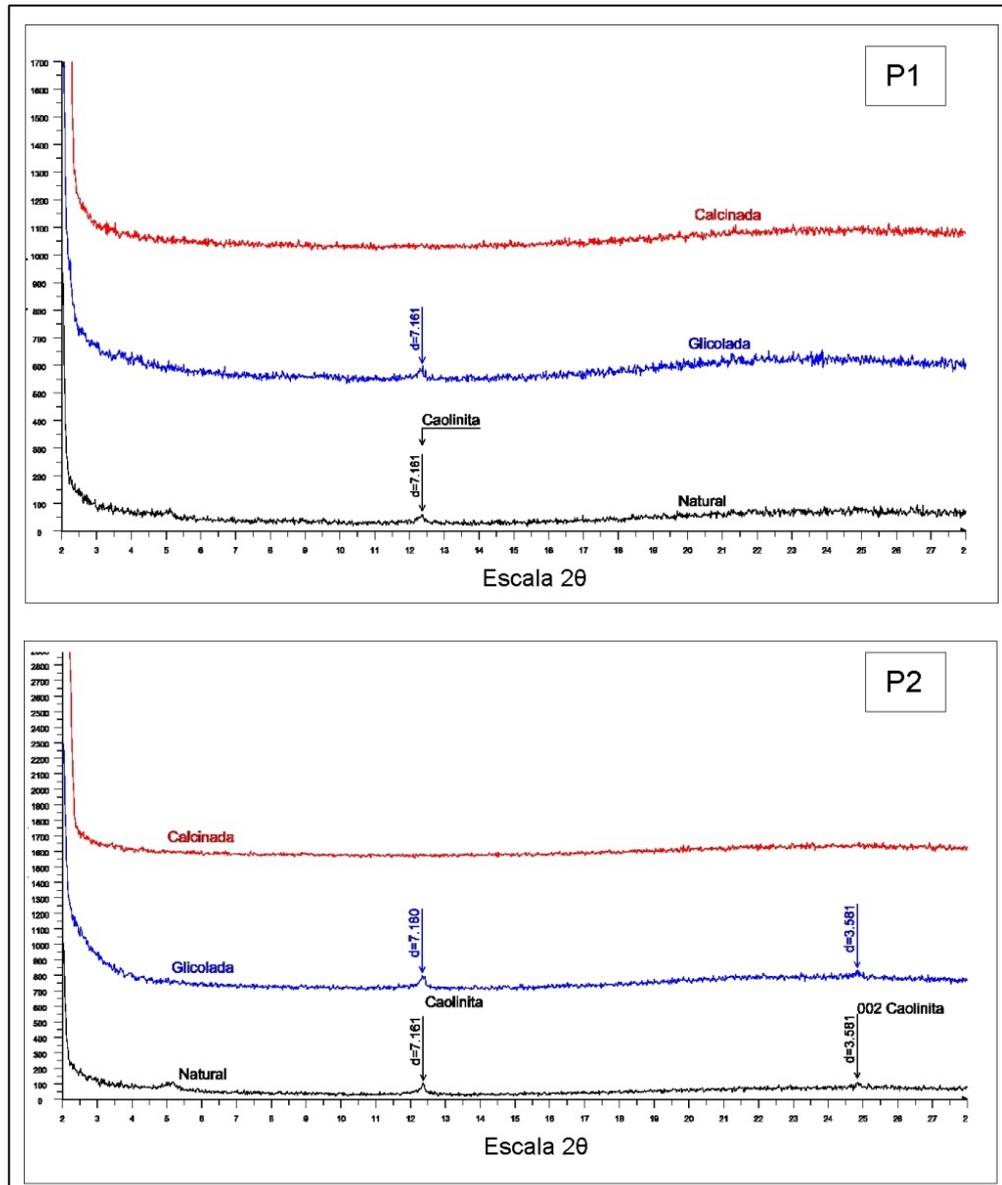


Figura 30 – Difratoformas de raios X realizadas na fração $FF < 2 \mu\text{m}$ dos sedimentos de fundo nos pontos P1B e P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

A integração dos resultados granulométricos, onde o teor das frações finas foi inferior a 1%, aos resultados da composição mineralógica (majoritariamente composta de quartzo e feldspato), mostra que a tendência é de não retenção dos metais neste ambiente. Além disso, o argilomineral identificado nos sedimentos de fundo foi a caulinita, cujas propriedades de retenção dos metais são muito baixa.

4.4.4 Fluorescência de Raios X

Foi possível determinar as concentrações de 8 elementos maiores e 14 elementos traços das amostras de sedimento de fundo ($FF > 63\mu\text{m}$) nos dois pontos amostrados no Arroio Moinho por fluorescência de Raios X. Os elementos maiores analisados foram Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K e P. Os elementos traços determinados foram As, Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y, Cr, Ni, Zn, Ga, Pb, Co e Cu.

4.4.4.1 Elementos maiores

O resultado da concentração dos elementos maiores é expresso em óxido e encontra-se apresentado na tabela 12. Os resultados foram comparados com as concentrações mínimas (min), médias (md) e máximas (max) estabelecidas para o Granito Santana por Oliveira *et al.* (2001). As concentrações médias foram consideradas como valores de referência ou nível de base natural (*background*) da área de estudo.

Tabela 12 – Concentrações mínima (min), máxima (máx) e média (md) dos elementos maiores em óxidos analisados no Granito Santana [Fonte: Oliveira, *et al.*, 2001] e resultados das análises dos sedimentos de fundo nos pontos amostrados P1B e P2 em % [Fonte: Dados da Pesquisa]. A coluna em vermelho, Md, corresponde às concentrações de NBn.

| Óxidos | Min | Max | Md | P1B | P2 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 70,89 | 75,9 | 73,38 | 55,69 | 52,23 |
| TiO ₂ | 0,05 | 0,36 | 0,21 | 0,76 | 0,79 |
| Al ₂ O ₃ | 12,8 | 14,39 | 13,51 | 19,90 | 20,92 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,2 | 2,45 | 1,87 | 6,09 | 6,91 |
| MnO | 0,01 | 0,13 | 0,07 | 0,06 | 0,24 |
| MgO | 0,05 | 0,21 | 0,11 | 0,53 | 0,57 |
| CaO | 0,45 | 1,13 | 0,73 | 0,72 | 0,77 |
| Na ₂ O | 3,4 | 5,09 | 4,11 | 0,90 | 0,97 |
| K ₂ O | 3,7 | 5,7 | 4,96 | 3,05 | 2,73 |
| P ₂ O ₅ | 0,01 | 0,09 | 0,04 | 0,53 | 0,50 |
| PF | 0,16 | 1,25 | 0,67 | 12,70 | 13,85 |

PF: perda ao fogo.

Os óxidos de Si, Na e K apresentam concentrações inferiores ao *background* (Md) em ambas as amostras (P1B e P2). Os demais óxidos, Ti, Al, Fe, Mg e P apresentaram teores superiores aos correspondentes *backgrounds*. Em relação aos óxidos de Mn e Ca, apenas as concentrações de P2 foram superiores às concentrações do NBn, em P1B os valores estão próximos ao *background*. Os

óxidos de Si, K e P apresentam uma redução das concentrações entre os pontos P1B e P2, enquanto que os demais óxidos exibiram concentrações maiores em P2 em relação a P1.

4.4.4.2 Elementos traços

Os resultados obtidos da análise de elementos traços são apresentados na tabela 13. Também foram utilizadas as concentrações mínimas (min), médias (md) e máximas (máx) obtidas para o Granito Santana. As concentrações médias (md) foram adotadas como valores de nível de base natural (NBn ou *background*).

Tabela 13 – Concentração média (md), máxima (max) e mínima (min) de metais no Granito Santana [Fonte: Oliveira, et al., 2001] e na fração FF< 63 µm dos sedimentos de fundo do arroio Moinho [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015]. Unidade: partes por milhão (ppm). Em vermelho, elementos mais tóxicos, em verde os valores adotados como NBn.

| METAIS | MIN | MAX | MD | P1B | P2 |
|--------|-----|-----|-------------------|-------|-------|
| As | - | - | 15 ^(a) | 32,1 | 27,8 |
| Ba | 36 | 596 | 296 | 487,8 | 287,2 |
| Rb | 177 | 295 | 226 | 225,7 | 242,9 |
| Sr | 3 | 216 | 88 | 68,4 | 63,1 |
| Zr | 82 | 244 | 163 | 328,5 | 386,5 |
| Nb | 5 | 29 | 16 | 42 | 46,8 |
| Y | 20 | 75 | 49 | 73,2 | 87,2 |
| Cr | 35 | 65 | 44 | 46,6 | 33,2 |
| Ni | 2 | 4 | 3 | 8 | 14,0 |
| Zn | 42 | 55 | 47 | 327,8 | 262,4 |
| Ga | 17 | 24 | 20 | 27,2 | 33,3 |
| Pb | 20 | 24 | 22 | 58,8 | 47,4 |
| Co | - | - | 21 ^(b) | 31,6 | 31,0 |
| Cu | - | - | 23 ^(b) | 41,5 | 43,5 |

(-) elemento não analisado. ^(a) corresponde ao VQR da Lista Holandesa. ^(b) VQR da FEPAM.

Todos os elementos apresentaram valores superiores ao *background* (Md), exceto o Ba (em P2), Rb (em P1), Sr e Cr (em P2). Apesar de possuírem concentrações superiores ao NBn, os metais Ba, Rb, Y (em P1) e Cr (em P1) tem suas concentrações inseridas dentro do intervalo mínimo e máximo medidos no Granito Santana. Já os metais Zr, Nb, Ni, Zn, Ga e Pb apresentaram concentrações que ultrapassam também os valores máximos. Os elementos As, Co e Cu foram comparados com os valores VQR da Lista Holandesa e apresentaram valores de duas a três vezes superiores aos seus correspondentes VQR. O Cr concentração em P1B semelhante ao *background* e o P2 apresenta uma diminuição dos teores de Cr.

Observa-se uma tendência de crescimento nas concentrações dos metais Rb, Zr, Nb, Y, Ni, Ga e Cu em P2 em relação a P1B. Esse aumento varia de 7% a 75% para os elementos Rb e Ni respectivamente. Essa relação de acréscimo é mostrada na figura 31 para o Ni, Nb, Ga, Cu, Y e na figura 33 para o Zr e Rb. Já os metais As, Ba, Sr, Cr, Zn, Pb, Co apresentaram decréscimo nas concentrações de P2 em relação a P1B conforme indica as figura 33. A análise da figura 32 mostra um padrão onde as concentrações diminuem de 1,8%, para o Co, a 28% para o Cr.

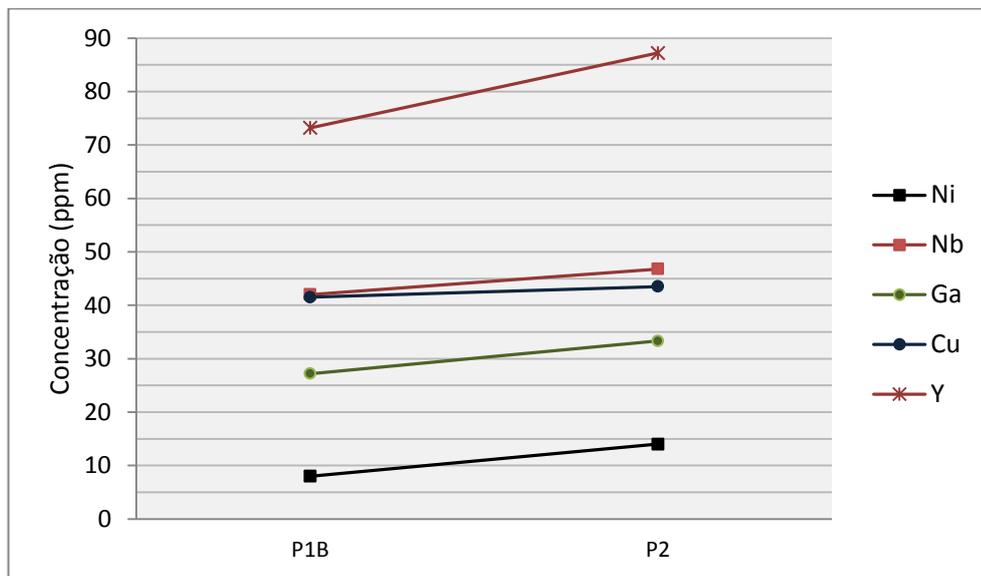


Figura 31 – Aumento das concentrações de Ni, Nb, Ga, Cu e Y de P1B para P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

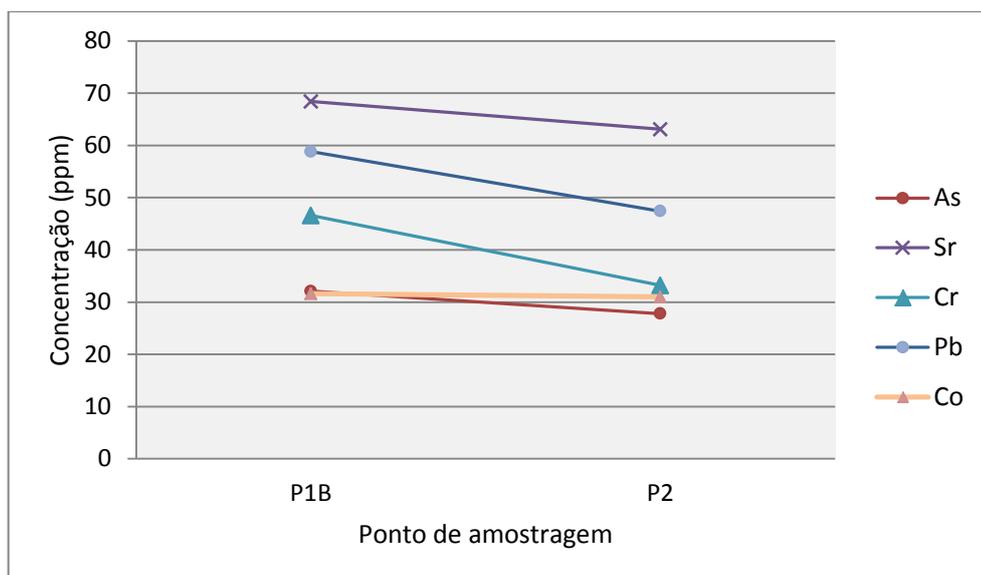


Figura 32 – Redução das concentrações de As, Sr, Cr, Pb e Co de P1B a P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

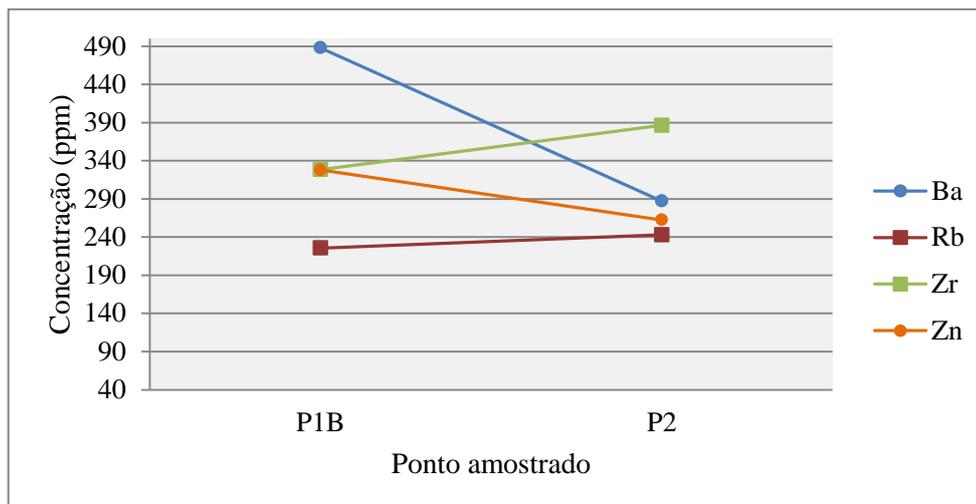


Figura 33 – Os elementos Zr e Rb apresentam uma tendência de aumento nas concentrações, enquanto que os elementos Ba e Zn apresentam um comportamento inverso, ou seja, uma redução nas concentrações de P1B para P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

4.4.5 Fator de Contaminação

O fator de contaminação dos metais calculado nos pontos amostrais é apresentado na tabela 14, assim como as concentrações do nível de base natural (concentrações médias dos elementos no Granito Santana, exceto para o Co e Cu que correspondem às concentrações de referência de qualidade estipulados pela FEPAM, ver item 4.5).

Tabela 14 – Fator de Contaminação dos metais nos sedimentos de fundo em P1B (FC1) e P2 (FC2) situados no arroio Moinho [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015] e o nível de base natural (NBn).

| Metais | NBn | P1B | P2 | FC1 | FC2 |
|--------|-------|-------|-------|------|------|
| As | 15 | 32,1 | 27,8 | 2,14 | 1,85 |
| Ba | 296,6 | 487,8 | 287,2 | 1,64 | 0,97 |
| Rb | 226,3 | 225,7 | 242,9 | 1,00 | 1,07 |
| Sr | 88,2 | 68,4 | 63,1 | 0,78 | 0,72 |
| Zr | 163,4 | 328,5 | 386,5 | 2,01 | 2,37 |
| Nb | 16,0 | 42,0 | 46,8 | 2,63 | 2,93 |
| Y | 49,5 | 73,2 | 87,2 | 1,48 | 1,76 |
| Cr | 44,6 | 46,6 | 33,2 | 1,04 | 0,74 |
| Ni | 3,0 | 8,0 | 14,0 | 2,67 | 4,67 |
| Zn | 47,2 | 327,8 | 262,4 | 6,94 | 5,56 |
| Ga | 20,3 | 27,2 | 33,3 | 1,34 | 1,64 |
| Pb | 22,0 | 58,8 | 47,4 | 2,67 | 2,15 |
| Co | 21 | 31,6 | 31,0 | 1,51 | 1,48 |
| Cu | 23 | 41,5 | 43,5 | 1,81 | 1,90 |

O FC é um método empírico que permite evidenciar um excesso da concentração de um determinado elemento nos sedimentos. Quando os valores de FC são superiores a uma unidade, indica que os sedimentos estão contaminados e quando inferiores, os elementos estão saindo do sistema. Nesse trabalho, observa-se que a maioria dos elementos apresentam valores de FC entre 1 a 3, mostrando um enriquecimento desses elementos nos pontos estudados. Já o elemento Sr apresenta valores inferiores à unidade para ambos os pontos, enquanto que o Cr apenas no ponto P2, indicando a saída desses elementos nesse segmento do arroio. O Ba apresenta FC próximo de uma unidade no P2. Todavia os elementos Zn e Ni (em P2) apresentam FC compreendidos entre 4,67 e 7,9.

4.4.6 Índice de Geoacumulação

Os índices de geoacumulação são apresentados na Tabela 15. Assim como o fator de contaminação, o Igeo é um método empírico utilizado para classificar a contaminação por metais em sedimentos de fundo e em solos.

Tabela 15 – Índices de geoacumulação dos pontos amostrados (P1B e P2) na região das cabeceiras do arroio Moinho. Em vermelho, o elemento com maior concentração registrada em relação ao nível de base natural (NBn) [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| Metais | NBn | Igeo P1B | Igeo P2 | Classe Igeo P1B | Classe Igeo P2 |
|--------|-------|----------|---------|-----------------|----------------|
| As | 15,0 | 0,51 | 0,31 | 1 | 1 |
| Ba | 296,6 | 0,13 | -0,63 | 1 | 0 |
| Rb | 226,3 | -0,59 | -0,48 | 0 | 0 |
| Sr | 88,2 | -0,95 | -1,07 | 0 | 0 |
| Zr | 163,4 | 0,42 | 0,66 | 1 | 1 |
| Nb | 16,0 | 0,81 | 0,96 | 1 | 1 |
| Y | 49,5 | -0,02 | 0,23 | 0 | 1 |
| Cr | 44,6 | -0,52 | -1,01 | 0 | 0 |
| Ni | 3,0 | 0,83 | 1,64 | 1 | 2 |
| Zn | 47,2 | 2,21 | 1,89 | 3 | 2 |
| Ga | 20,3 | -0,17 | 0,12 | 0 | 1 |
| Pb | 22,0 | 0,83 | 0,52 | 1 | 1 |
| Co | 21,0 | 0,00 | -0,02 | 1 | 0 |
| Cu | 23,0 | 0,27 | 0,33 | 1 | 1 |

Os resultados dos índices de geoacumulação permitem concluir que praticamente não há contaminação (classe Igeo 0) em Rb, Sr, Cr (em ambos os pontos), de Y e Ga em P1B; e de Ba e Co em P2. Já a contaminação com intensidade baixa a moderada (classe Igeo 1) foi registrada para os elementos As, Zr, Nb, Pb e Cu nos dois pontos e por Ba, Ni, Co em P1B e Ga e Y em P2. A intensidade de contaminação subsequente, moderada (classe Igeo 2), foi

registrada para Zn e Ni em P2. E contaminação moderada a forte (classe Igeo 3) para Zn em P1B. As classes de Igeo dos parâmetros analisados nos pontos amostrados apresentam-se esquematizados na tabela 16.

Tabela 16 – Classes de Igeo dos metais nos sedimentos de fundo dos pontos amostrados. P1B e P2. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| CLASSE IGEO | P1B | P2 |
|--|--------------------|--------|
| Praticamente não poluído: classe Igeo 0 | Rb, Sr, Cr | |
| | Ga, Y | Ba, Co |
| Pouco a moderada: classe Igeo 1 | As, Zr, Nb, Pb, Cu | |
| | Ba, Ni, Co | Y, Ga |
| Moderada: classe Igeo 2 | | Ni, Zn |
| Moderada a forte: classe Igeo 3 | Zn | |

4.5 QUALIDADE DOS SEDIMENTOS

Os valores orientadores VI e VP determinados pela Resolução CONAMA 420/2009 para os elementos As, Ba, Cr, Ni, Zn, Pb, Co e Cu são apresentados na tabela 17, assim como o VQR fixado pela FEPAM (Lei n° 85/2014), exceto para o As e o Ba. Para esses elementos, o VRQ adotado foi da Lista Holandesa e a concentração média do Granito Santana (OLIVEIRA, *et al.*, 2001) respectivamente. Também são apresentados os resultados das concentrações dos respectivos elementos analisados nos sedimentos de fundo nas amostras coletadas em P1B e P2.

Tabela 17 – Valores orientadores VRQ, VP e VI para os elementos analisados nos sedimentos de fundo no arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

| METAL | VRQ | VP | VI | P1B | P2 |
|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| As | 15 | 15 | 55 | 32,1 | 27,8 |
| Ba | 296,6 | 150 | 500 | 487,8 | 287,2 |
| Cr | 33 | 120 | 190 | 46,6 | 33,2 |
| Ni | 11 | 35 | 60 | 8,0 | 14,0 |
| Zn | 32 | 300 | 1.000 | 327,8 | 262,4 |
| Pb | 23 | 181 | 312 | 58,8 | 47,4 |
| Co | 21 | 29 | 53 | 31,6 | 31,0 |
| Cu | 23 | 47 | 79 | 41,5 | 43,5 |

VRQ: valor referência de qualidade. **VP:** valor de prevenção. **VI:** valor de intervenção.

Todas as concentrações dos metais dos dois pontos de amostragem estão acima do valor de referência de qualidade (VQR), exceto para Ba no ponto P2 e Ni em P1B. No entanto, é necessário considerar que, embora o Ba tenha concentrações superiores a VI no ponto P1B, a concentração máxima desse elemento encontrada no Granito Santana foi de 596 ppm (OLIVEIRA *et al.*, 2001). Os elementos As e Co apresentam concentrações superiores a VP (valor de prevenção) segundo a classificação do CONAMA para ambos os pontos enquanto que os elementos Cr apenas em P1B. Contudo, de acordo com as prescrições legais apresentadas na tabela 17, os dois pontos são enquadrados na Classe 4. Essa classe requer um gerenciamento das áreas contaminadas que objetive identificar e eliminar as possíveis fontes de contaminação, diminuir as concentrações dos contaminantes de forma que reduza os riscos potenciais à saúde humana e ao ecossistema aquático.

4.6 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONOMICAS DA POPULAÇÃO DA MICROBACIA

Os dados socioeconômicos da população residente a montante dos pontos amostrados na microbacia são demonstrados na tabela 18 e são apresentados de acordo com as regiões geomorfológicas da microbacia, são elas: **a)** região das nascentes e topos de morros, onde estão situados os pontos P1 e P2; **b)** região intermediária, onde se situa o P3; e **c)** região da foz, P4. De acordo com os dados censitários do IBGE em 2000 (*apud* LOPEZ, 2011), a renda média *per capita* mensal da população residente na região da foz é de R\$ 935,00 e assume valores menores em direção à região das nascentes (R\$ 393,00). Da mesma maneira, o tempo médio de estudo da população que mora nas encostas dos morros (5 anos), é inferior ao tempo de estudo dos moradores que ocupam a região da foz (8 anos). Os dados de infraestrutura sanitária também assumem valores preocupantes da foz em direção as nascentes, de maneira que apenas 67% dos moradores tem acesso ao abastecimento de água pela rede geral e menos que 1% das moradias tem acesso à rede geral de coleta de esgoto.

Tabela 18 – Condições socioeconômicas da população residente nas áreas a montante dos pontos amostrados. [Fonte: Modificado de Lopez, 2011].

| PONTO | HAB E ANO DE OCUPAÇÃO | ESCOLARIDADE | RENDA MENSAL PER CAPITA (R\$) ¹ | COLETA PELA REDE GERAL |
|-----------|-----------------------|--------------|--|------------------------|
| P1 | Hab: 1.126 | TME: 5,88 a. | 50,16% ≤ 2 SM | Esgoto: 0,62% |
| | Ocup: 2010 | NS: 1,24% | RM: 393,28 | |
| P2 | Hab: 23.576 | TME: 5,84 a. | 52,42% ≤ 2 SM | Esgoto: 44,49% |
| | Ocup: 1990 | NS: 2,44% | RM: 434,15 | |
| P3 | Hab: 10.151 | TME: 7,08 a. | 34,28% ≤ 2 SM | Esgoto: 70,30% |
| | Ocup: 1971 | NS: 8,07% | RM: 740,97 | |
| P4 | Hab: 9.154 | TME: 8,13 a. | 29,19% ≤ 2 SM | Esgoto: 77,62% |
| | Ocup: 1940 | NS: 15,40% | RM: 935,79 | |

Hab: habitante. **TME:** tempo médio de estudo. **RM:** renda média. **NS:** cursou nível superior. **SM:** salário mínimo no valor de R\$ 151,00 em 2000. **Ocup:** início da ocupação na região; (*) do responsável pelo lar.

4.7 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS MARGENS DO ARROIO MOINHO

O mapa de uso e ocupação das margens do arroio Moinho (Figura 34) mostra que as margens protegidas pela legislação encontram-se ocupadas por moradias tanto na região das nascentes, quanto na porção intermediária e avança para a região das nascentes onde a ocupação é rarefeita. Há importantes manchas vegetacionais distribuídas ao longo do curso do arroio e nos topos dos morros que possibilitariam implementar parques lineares e trilhas para fruição da paisagem. A ocupação na região das nascentes é inconsolidada, o acesso às residências se dá por becos e vielas. Apesar da densidade da ocupação nessa região ser menor em relação às demais, observa-se que em algumas áreas ocupadas não apresentam vegetação preservada (flecha branca na porção superior da Figura 34).

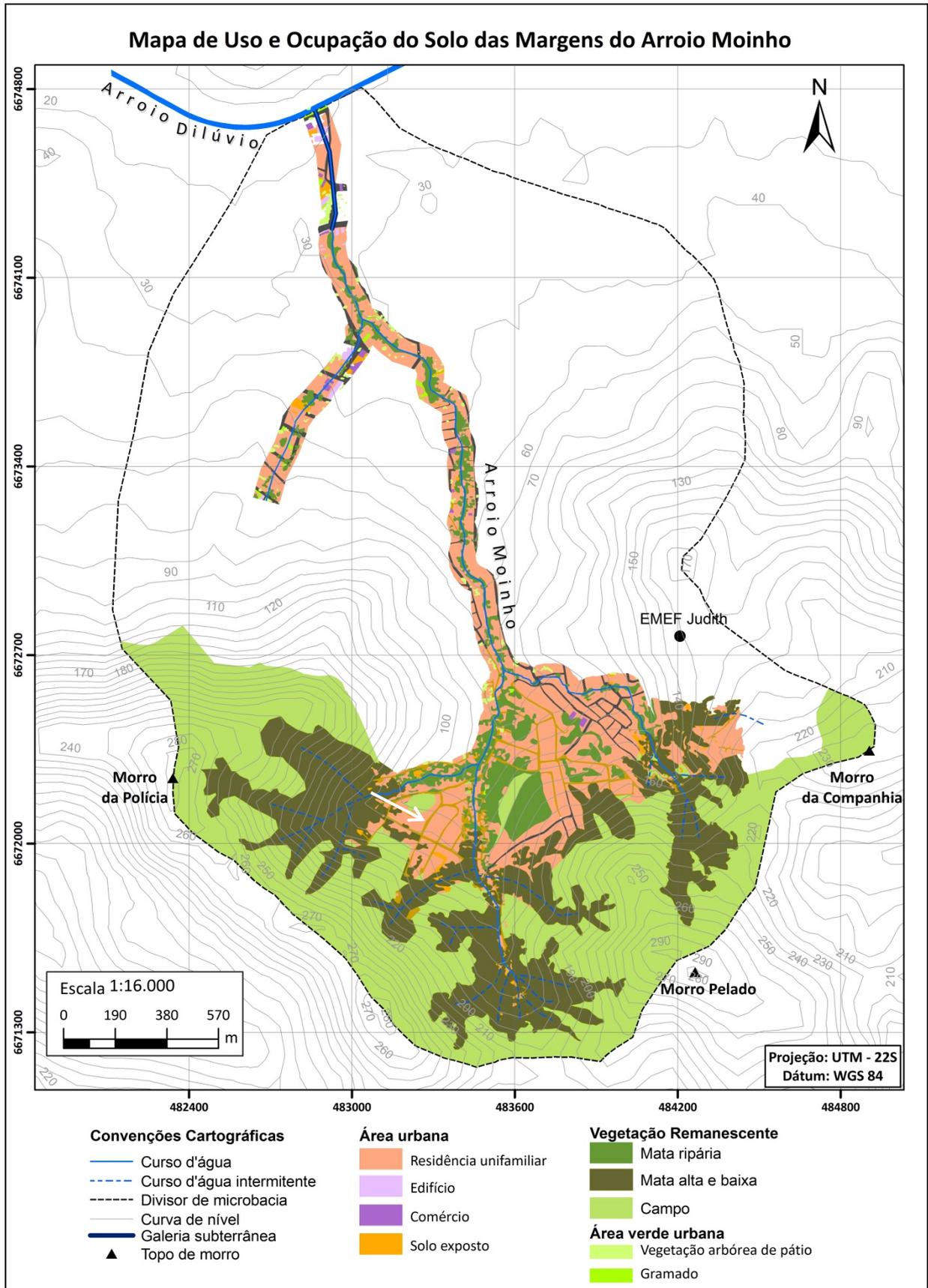


Figura 34 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo das Margens do Arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

5 CONCLUSÕES: ANÁLISE E INTEGRAÇÃO PARA A GESTÃO AMBIENTAL DA MICROBACIA DO ARROIO MOINHO

No presente estudo, considerou-se que as condições ambientais e a qualidade da água no Arroio Moinho são impactadas de acordo com a densidade populacional e as condições geomorfológicas e hidrológicas do corpo d'água. Para testar nossas hipóteses, utilizou-se um conjunto de técnicas e metodologias de mapeamento e diagnóstico analítico da água e dos sedimentos de fundo. O diagnóstico inclui:

- a) Análise da qualidade da água de quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) distribuídos em diferentes segmentos do arroio.
- b) Determinação da classe de qualidade da água de quatro pontos amostrais de acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005.
- c) Análise química, mineralógica e granulométrica de duas amostras de sedimentos de fundo localizadas na região de nascentes (P1B e P2).
- d) Mapa de densidade populacional e qualidade da água da microbacia do arroio;
- e) Mapa dos tipos de esgotamento sanitário de acordo com censo do IBGE (2010);
- f) Análise das características socioeconômicas de acordo com dados censitários do IBGE (2000);
- g) Mapa de uso e ocupação do solo das margens do Arroio Moinho;
- h) Determinação do Fator de Contaminação (FC) e Índice de Geoacumulação (Igeo) dos metais pesados em dois pontos amostrais (P1B e P2).
- i) Enquadramento das análises de dois pontos amostrais (P1B e P2) nas classes de qualidade de sedimentos de fundo de acordo com Resolução do Conama 420/2009.

A integração dos resultados do diagnóstico mostra que a região das nascentes (ponto amostral P1 e P1B), embora apresente menor densidade populacional, está recebendo altas cargas de efluentes domésticos conforme demonstraram as análises da água. Nessa região, fatores geomorfológicos locais, como patamares de menor declividade, contribuem para a baixa dispersão de contaminantes. Na região intermediária superior (ponto amostral P2), a contaminação por efluentes domésticos diminui levemente em relação ao ponto P1, embora ainda classificada fora de classe. Já no ponto P3, situado no segmento intermediário inferior, a

contaminação é levemente inferior à região das nascentes, para posteriormente aumentar no ponto amostral P4.

Os resultados analíticos da qualidade da água classificam o arroio como ‘fora de classe’ de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005. Nessa condição, as águas do arroio não podem ser destinadas ao consumo mesmo após tratamento avançado. Tampouco satisfaz as condições de função paisagística. Além disso, ao mesmo tempo em que é realizado o lançamento de efluentes domésticos há o despejo de resíduos sólidos nas margens e leito do arroio (e.g., resíduos domésticos, móveis, entulhos da construção civil), transformando esse importante elemento da paisagem em fonte de transmissão de doenças.

Além da contaminação das águas, foi constatado que os sedimentos de fundo, na região das cabeceiras do arroio, apresentam contaminação – moderada por Ni (classe Igeo 2), em P2, e moderada a forte (classe Igeo 3) por Zn (em P1B) – embora a porcentagem da fração fina (FF < 63 µm) seja inferior a 1% e conseqüentemente a capacidade de retenção de metais é baixa. Além disso, o argilomineral identificado nos sedimentos de fundo foi a caulinita, cujas propriedades de retenção dos metais são muito baixa.

O mapa de uso e ocupação do solo das margens ribeirinhas mostra que, embora as margens sejam protegidas pelo Código Florestal, elas encontram-se ocupadas, tornando mais complexa a remoção dessas moradias. Na região das nascentes (do topo dos morros até a cota de 100 m), a ocupação é baixa, ocorrendo importantes manchas de remanescentes vegetacionais nas margens e topos de morros. O segmento intermediário alto (cotas de elevação de 100 a 70 m), se caracteriza por maior ocupação, acarretando em fragmentação da vegetação ripária com alguma conectividade nos braços norte e oeste e bem menor no braço leste (onde foram feitas as coletas amostrais P1 e P2). No segmento intermediário baixo (cotas de elevação de 70 a 30 m), há ocupação mais intensa, ocorrendo expressivas manchas vegetacionais, porém com conectividade baixa ou inexistente. Por fim, na região da foz (cotas de elevação de 20 a 30 m), há reduzida ocorrência de manchas vegetacionais, e, no segmento final, o curso d’água encontra-se canalizado por meio de galerias subterrâneas.

O mapa de uso e ocupação do solo das margens mostra a necessidade de elaborar-se um plano de gestão onde a população se comprometa a minimizar os impactos da ocupação que realiza nas margens. Esse plano, para ter sucesso, deve contar com a participação efetiva da população na sua elaboração.

Os dados socioeconômicos do censo do IBGE de 2000 (*apud* Lopez, 2011) revelam a vulnerabilidade socioeconômica dos habitantes das margens do arroio Moinho. O tempo médio de estudo de 5 anos na região das nascentes e de 8 anos na região da foz mostra a

importância de realizar-se um trabalho de educação ambiental nas escolas da região, pois elas podem constituir-se em centros de saberes e podem difundir os diagnósticos da microbacia. Além disso, os alunos das escolas podem difundir ideias e ações de intervenção que permitam melhorar as condições ambientais do arroio Moinho, ações que possam ser realizadas pelos próprios moradores das margens ribeirinhas sem que dependam do serviço público para realizar a manutenção dos instrumentos. O presente trabalho propõe o estabelecimento de zonas de preservação, as quais podem ser implantadas em áreas onde a população se mostre disposta e se envolva na sua elaboração, projeção e implementação considerando as necessidades locais, como a seguir comentado.

5.1 MAPA DE ZONEAMENTO DAS MARGENS E REGIÃO DE NASCENTES DO ARROIO MOINHO

O mapa preliminar de Gestão e Proteção das Margens do Arroio Moinho é apresentado na figura 35. Ele integra os dados em termos de um zoneamento ambiental, que se constitui em instrumento de gestão importante previsto em lei e permite regular o uso do solo de acordo com o grau de conservação que se objetiva realizar.

No mapa foram reconhecidas quatro zonas: de proteção, de amortecimento, de uso controlado por meio de parques lineares e, por fim uma zona de risco. Na região das nascentes, situa-se a zona de proteção, a qual preconiza que não deveria haver ocupação. Nela ocorrem significativas áreas de vegetação natural, como campos, mata alta e baixa, bem como mata ripária. A zona de amortecimento, situada no segmento intermediário alto, prevê que a ocupação deva ser congelada, e as manchas vegetacionais conservadas. A zona de parque linear estende-se desde parte do segmento intermediário superior até a região da foz. Nela, preconizam-se métodos de conservação de áreas verdes por meio de parques e áreas de convivência comunitária. A zona de alto risco demarca o limite proibitivo de ocupação da margem. Nessa zona, possíveis moradias deveriam ser removidas.

O papel desse instrumento de gestão seria o de promover um pacto entre a comunidade, prefeitura e gestores da microbacia hidrográfica com as seguintes finalidades:

- Reestabelecer as funções ecológicas do arroio;
- Reintegrar o arroio à paisagem como um corredor verde da trama ambiental;
- Integrar o bem ambiental aos valores culturais da comunidade mudando a forma como o arroio é visto;
- Uso público da área ribeirinha, onde o arroio poderia constituir um parque;

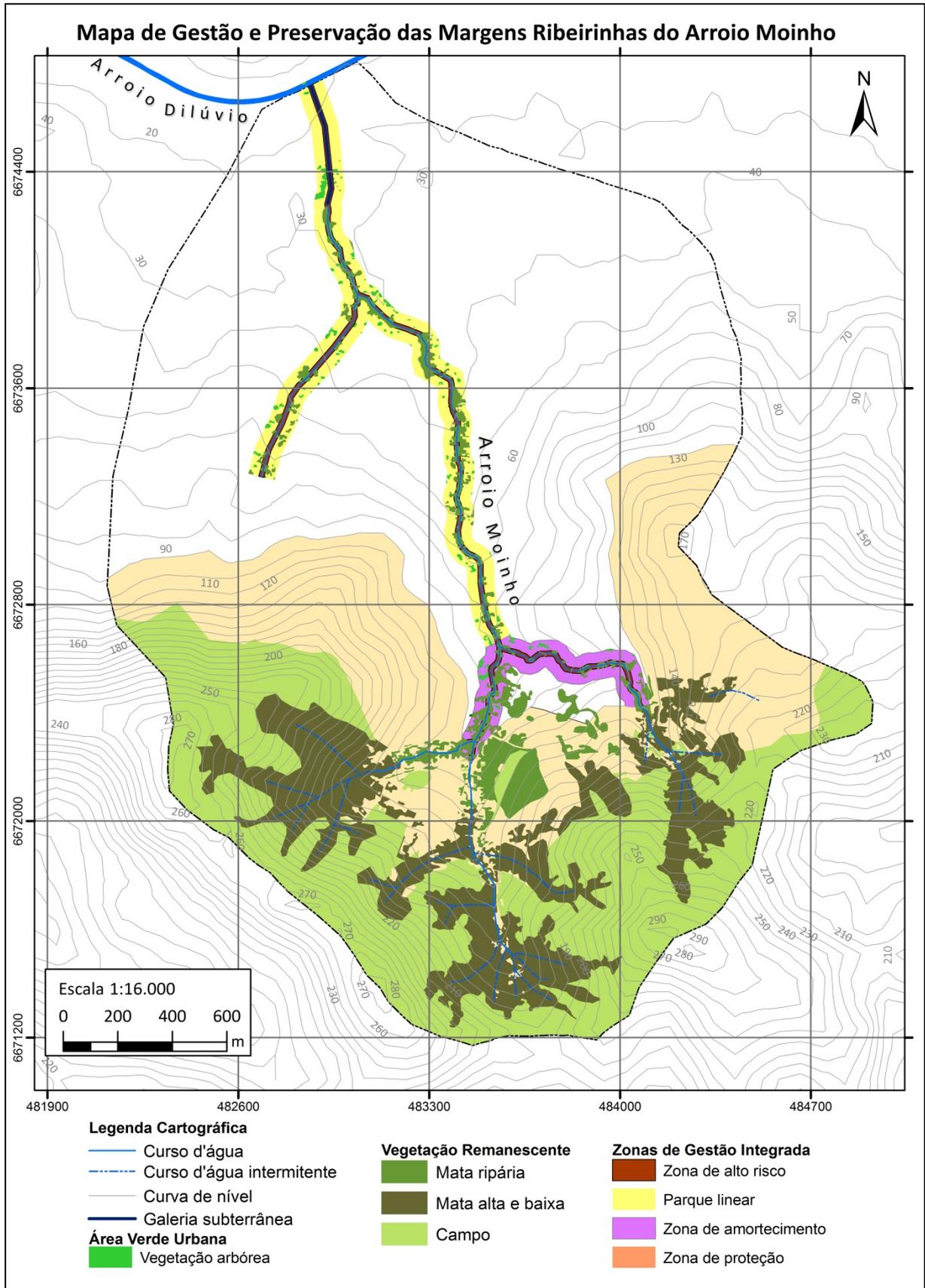


Figura 35 – Mapa de Zoneamento das Margens e da Região de Nascentes do Arroio Moinho. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

- Valorar o arroio como corredor verde da trama ambiental – ecológicas das bacias hidrológicas da cidade.

Instrumentos de gestão desse tipo, que tem por base amplo diagnóstico, podem, ainda, servir como base para procedimentos jurídicos de estabelecimento da regulamentação de uso do solo nessas regiões. Instrumentos jurídicos desse tipo poderiam ajudar a incentivar a gestão ambiental. Do contrário, a inanição apenas incentiva a degradação ambiental, social e da saúde da população local e de todos porto-alegrenses, uma vez que o impacto da qualidade da água dos arroios da Crista de Porto Alegre acaba incidindo no Lago Guaíba.

6 REFERÊNCIAS

- American Water Works Association. 1964. Microorganismos da água. *In: American Water Works Association. Água: tratamento e qualidade*. 2. ed. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, p. 10 - 27.
- Andreoli, C.A. & Sperling, M.V. 2001. *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 438 p.
- Água e Cidade. 2014. *Esgoto é Vida; Dossiê do Saneamento*. Disponível em: <http://www.esgotoevida.org.br/download/dossie_saneamento.pdf>. Acesso em set. 2014.
- Batalha, B.L. & Parlatore A.C. 1977. Requisitos de Qualidade de Água para Consumo Humano: análise conceitual e comparativa. *In: Batalha, B.L. & Parlatore, A.C. Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais*. São Paulo, CETESB, p. 65-172.
- Bendati, M.M. Facchin, J. Konrad, J. Soares, P. Staruk, J. Santos, J. 2006. Mapa do sistema de esgotamento sanitário. *In: Menegat, R. Porto, M.L., Carraro, C.C. & Fernandes, L.A.D. (Coords). Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, p. 183-184.
- Branco, S.M., Azevedo, S.M.F.O. & Tundisi, J.G. 2006. Água e Saúde Humana. *In: Rebouças, A.C., Braga, B. & Tundisi, J.G. (Orgs.). Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3ed. São Paulo, Escrituras, p. 241-268.
- Bortoluzzi, E.P.C. & Petry, C. 2008. Partículas minerais: da rocha ao sedimento. *In: Poletto, C. Ambiente e sedimentos*. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 1-27.
- Brasil. Decreto-lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, Código Florestal*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em jan. de 2014.
- Bursztyb, M. & Bursztyb, M.A. 2012. *Fundamentos de Política e Gestão Ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, Garamond, 612p.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2014. 6530 – Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea. *In: CETESB. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. 2ed. São Paulo, CETESB, p.355 – 370. Disponível em: <<http://relasc.org/relasc-docs-orden/menu-biblioteca/publicaciones-tecnicas-cientificas-guias-y-manuales/brasil/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas-no-estado-de-sao-paulo-compilado/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas-no-estado-de-sao-paulo.pdf>>. Acesso jun. 2015.
- _____. 2012. *Indicadores de Qualidade da Água*. São Paulo, CETESB. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/02.pdf>>. Acesso em out. 2015.
- _____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2014. *Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências*. Disponível em:<

<http://cetesb.sp.gov.br/solo/wp-content/uploads/sites/34/2013/12/VO-2014.pdf>>. Acesso em jun. de 2015.

CMAD/ONU. Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento/Nações Unidas. 1987. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas.

COMITESINOS. 1993. *Aplicação de um índice de qualidade da água no Rio dos Sinos, RS*. Porto Alegre, Departamento Municipal de Água e Esgoto.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2005. *Resolução 357/2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Brasília, CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em set. 2014.

_____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2009. *Resolução 420/2009 – Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas*. Brasília, CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em ago. de 2015.

Corson, W.H. 1993. Águas doces. In: Corson, W.H. (Ed.). *Manual Global de Ecologia: o que você por fazer a respeito da crise do meio-ambiente*. São Paulo, Augustus, p. 175-187.

Cristovão, D.A. 1969. Padrões bacteriológicos: caracterização bacteriológica da poluição e contaminação. In: CETESB, Centro Tecnológico de Saneamento Básico. *ÁGUA: qualidade, padrões de potabilidade e poluição*. São Paulo: CETESB, p. 74-166.

Derísio, J.C. 2012. Recurso da Água. In: Derísio, J.C. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 4ed. São Paulo, Oficina Texto, p. 19-40.

Duarte, R.J.P. 2002. *Avaliação Geoambiental da Sub-bacia do Arroio Moinho. Município de Porto Alegre, RS*. 51p. Monografia (Graduação), Curso de Geologia, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Förstner, U. & Wittmann, G.T.W. 1983. *Metal Pollution in aquatic environment*. 2 ed. Berlin, Heidelberg New York, Tokyo, Springer-Verlag. 486 p.

Förstner, U. & Wittmann, G.T.W. 1989. *Metal Pollution in aquatic environment*. 3 ed. Berlin, Heidelberg New York, Tokyo, Springer-Verlag.

Gomes, G.F. 2013. *Conflitos socioambientais e o direito à água*. São Paulo, Outras Expressões, 207p.

Guerra, T. 2000. *Estudo da contaminação hidrogeoquímica fluvial e sua inserção na avaliação econômico-ambiental da mineração de carvão região do Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil*. 262p. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Niterói.

Guerra, T. 2007. *Conhecer para gerenciar*. Porto Alegre, Nova Prova, 491 p.

Hem, J.D. 1970. *Study and Interpretation of Chemical of Natural Water*. 2ed. Washington, U.S. Government Printing Office, 358p.

Klein, C & Dutrow, B. 2012. Métodos Analíticos e de Imagem na Ciência dos Minerais. In: Klein, C. & Dutrow, B. *Manual de Ciências dos Minerais*. Menegat, R. (Trad.). Porto Alegre, Bookman.

Krumbein, W.C. & Sloss, L.L. 1963. Properties of sedimentary rocks. In: Krumbein, W.C. & Sloss, L.L. *Stratigraphy and Sedimentation*. 2 ed. EUA, W.H. Freeman and Company, p. 93 – 150.

Laybauer, L. 2002. *Estudo do risco ambiental e da dinâmica sedimentológica e geoquímica da contaminação por metais pesados nos sedimentos do Lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil*. 271p. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Legget, Robert F. 1973. *Cities and geology*. New York, McGraw-Hill, 624 p.

Libânio, M. 2010. Características das águas naturais. In: Libânio, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3 ed. São Paulo, Editora Átomo, p. 25-78

Lopez, R.S. 2011. *Diagnóstico ambiental da sub-bacia do arroio Moinho – Porto Alegre, RS – Evolução urbana, dinâmica da paisagem e degradação ambiental*. 119p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Menegat, R. 2002a. Participatory democracy and sustainable development: integrated urban environmental management in Porto Alegre, Brazil. *Environment & Urbanization*, 14(2): 181-206.

Menegat, R. 2002b. Participatory democracy in Porto Alegre, Brazil. *PLA Notes 44, IIED*, p. 8-11.

Menegat, R. & Almeida, G. 2004a. Sustentabilidade, democracia e gestão ambiental urbana. In: Menegat, R. & Almeida, G. *Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental urbana*. Porto Alegre, Editora da Universidade, p. 173-196.

_____. 2004b. Desenvolvimento sustentável, participação popular e conhecimento: a gestão ambiental urbana em Porto Alegre. In: Menegat, R. & Almeida, G. *Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental urbana*. Porto Alegre, Editora da Universidade, p. 173-196.

Menegat, R. & Carraro, C.C. 2009. Guaíba, o maior bem de Porto Alegre. In: Menegat, R. & Carraro, C.C. 2009. *Manual para saber por que o Guaíba é um lago: análise integrada da geomorfologia, hidrografia, estratigrafia e história da ciência*. Porto Alegre, Armazém Digital, p. 9 – 14.

Menegat, R. & Kirchheim, R.E. 2006a. Lagos, rios e arroios: as doces águas da superfície.. In: Menegat, R., Porto, M.L., Carraro, C.C. & Fernandes, L.A.D. (Coords.). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, Editora da Universidade, p. 35-42.

Menegat, R. & Kirchheim, R.E. 2006b. Mapa das sub-bacias hidrográficas. In: Menegat, R., Porto, M.L., Carraro, C.C. & Fernandes, L.A.D. (Coords.). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, Editora da Universidade, p. 37-38.

Menegat, R. Koester, E. Kraemer, G. Fernandes, L.A.D. Sherer, C.S. Bachi. F. 2006. Porto Alegre antes do homem. In: Menegat, R., Porto, M.L., Carraro, C.C. & Fernandes, L.A.D. (Coords.). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, Editora da Universidade, p. 21-24.

Meneses, P.R. & Almeida, T. 2012. *Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: CNPQ, UNB. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em jan. 2015.

Müller, V.G. 1979. Schadstoffe in Sedimenten - Sedimenteals Schadstoffe. *Mitt, österr. geol. Ges. Umweltgeologie-Band*. p. 107-126. Disponível em: <http://www2.uibk.ac.at/downloads/oegg/Band_79_107_126.pdf>. Acesso em nov. 2015.

Oliveira, L.D., Koester, E. & Soliani Jr., E. 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. *Geochimica Brasiliensis*, 15 (1/2): 065 –092.

ONU. Organização das Nações Unidas. 2014a. *Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2012*. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>>. Acesso em set. 2014.

_____. Organização das Nações Unidas. 2014b. *Agenda 21*. In: United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro: United Nations. Disponível em: <<http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>>. Acesso em set. 2014.

Palsule, S.S. 2004. O Desenvolvimento Sustentável e a Cidade. In: Menegat, R. & Almeida, G. *Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental urbana*. Porto Alegre, Editora da Universidade, p. 31-57.

Pompêo, M.L.M. & Moschini, C.V. 2012. O Abastecimento de Água e o Esgotamento Sanitário: propostas para minimizar os problemas no Brasil. In: Rosa, A., Fraceto, L.F. & Moschini, V. (Orgs.). *Meio Ambiente e Sustentabilidade*. Porto Alegre, Bookman, p. 47-66.

PRB. *Population Reference Bureau*. 2014. *World Reference Datasheet*. Washington, DC. Disponível em: <<http://www.prb.org/Publications/Datasheets/2011/world-population-data-sheet/data-sheet.aspx>>. Acesso em set. 2014.

Sant'Anna Júnior, G.L. 2010. Poluição hídrica: parâmetros e indicadores de interesse. In: Sant'Anna, Júnior, G.L. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro, Interciência, p. 37-64.

Sperling, M. 1996. Parâmetros de Qualidade da Água. In: Sperling, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 2ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, p. 22-40.

Sperling, M.V., Neto, C.O.A., Júnior, I.V., Florêncio, L. 2009 Impacto dos Nutrientes do Esgoto Lançado em Corpos da Água. In: Mota, S.B. & Sperling, M.M. (Coords). *Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção*. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 26-51.

Suguió, K. 1937. Determinação das Propriedades das Rochas Sedimentares em Laboratório. In: Suguió, K. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blucher; Universidade de São Paulo, p. 26-49.

SMAM. 2015. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. In: Prefeitura de Porto Alegre. *Procedimentos para avaliação ambiental de sítio - água subterrânea e solo*. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p_secao=325>. Acesso em jun. de 2015.

Tucker, M.E. 2014. Texturas de rochas sedimentares. In: Tucker, M.E. *Rochas sedimentares: guia geológico de campo*. Menegat, R. (Trad.). Porto Alegre, Bookman, p. 105 – 122.

Tundisi, J.G. & Tundisi, T.M. 2011. *Recursos Hídricos no Século XXI*. São Paulo, Oficina dos Textos, 327p.

UNICEF. 2014. *Diarreia: Por que as crianças continuam morrendo e o que pode ser feito?* Disponível em: <http://www.unicef.org/media/files/Final_Diarrhoea_Report_October_2009_final.pdf> Acesso em ago. 2014.

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

| | | |
|---|---------------|-------------------------|
| Título da Monografia: A DIFÍCIL GESTÃO DE RIOS URBANOS: ESTARÃO MORTOS OS ARROIOS DE PORTO ALEGRE? O CASO DO ARROIO MOINHO | | |
| Autor: Bruna Bonfim Rodrigues | | |
| Orientador(es): Rualdo Menegat, Maria Lidia Vignol | | |
| Nota Final (1 até 10): 8,5 | | |
| Examinador: | Norberto Dani | Data: 08/12/2015 |

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? *Sim (X). Não (). Em parte ().*
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia ? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
3. As ilustrações são úteis e adequadas? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? *Sim (X). Não (). Em parte ()*
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? *Sim (X). Não (). Em parte ().*

| | |
|---|--|
| Comentários: | |
| O trabalho apresentado cumpre com qualidade a todos os requisitos necessários para aprovação em nível de conclusão de curso em Geologia. Necessário se fazer as seguintes observações sobre a monografia apresentada: | |
| 1) | O trabalho com parâmetros ambientais seguem particularidades e procedimentos internacionais que neste projeto foram bem manipulados pela autora; |
| 2) | O trabalho levanta uma série de dados analíticos e a autora trabalha estes dados de maneira criativa; |
| 3) | Uma única ressalva é quanto a resposta ao impactante título da pesquisa. Deduz-se pelos resultados que o arroio Moinho esta morto, porém, a autora não é enfática e não responde diretamente esta questão. Parabéns e lembre-se que as questões ambientais são o grande desafio da humanidade e um campo de trabalho promissor para o geólogo. |
| | |
| | |

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

A DIFÍCIL GESTÃO DE ARQUIVOS URBANOS:
Título da Monografia: *ESTANDO MONTOS OS ARQUIVOS DE PORTO ALEGRE?*
Autor: *BRUNA RODRIGUES*
Orientador(es): *RUBEN MENEGATT E MARIA LIDIA VIGANDL*
Nota Final (1 até 10): *9,5*
Examinador: *ANA MARIA XAVIER* **Data:** *08/12/2015*
30/11/2015

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? *Sim (X). Não ().*
Em parte ().
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia ?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
3. As ilustrações são úteis e adequadas?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?
Sim (). Não ().
Em parte (X)
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente?
Sim (X). Não ().
Em parte ().
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?
Sim (X). Não ().
Em parte ().

Comentários:

ana maria xavier

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

| | | |
|-------------------------------|---|-------------------------|
| Título da Monografia: | A difícil Gestão de rios Urbanos: estarão mortos os arroios de Porto Alegre? o caso do arroio Noiva | |
| Autor: | BRUNA BOMFIM RODRIGUES | |
| Orientador(es): | Ronaldo Menegat e Maria Lúcia Vignol. | |
| Nota Final (1 até 10): | 9,5 | |
| Examinador: | Telesinha Juena | Data: 07/12/2015 |

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ().
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ().
3. As ilustrações são úteis e adequadas? Sim (X). Não (). Em parte ().
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? Sim (X). Não (). Em parte ().
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ().
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? Sim (X). Não (). Em parte ().
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? Sim (X). Não (). Em parte ().
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? Sim (X). Não (). Em parte ().
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? Sim (X). Não (). Em parte ().
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? Sim (). Não (). Em parte (X).

Comentários: Considero que a introdução tem muitos itens que podem ser subdivididos. O Estado da Arte está bem escrito e referenciado bem como a metodologia. Sugiro incluir o item sedimentos após os dados de qualidade da água. Quanto aos resultados são consistentes porém sugiro incluir os dados da tabela 6 junto com os dados da tabela 5. A análise dos dados foi bem elaborada e o mapa de uso e ocupação das margens é um dos elementos principais da monografia. Faltou uma análise de integração dos dados. Por isso sugiro aproveitar as conclusões que traz essa informação e identificar se as hipóteses foram respondidas. Finalizar com conclusões sucintas. Seu trabalho é importante para o estudo dos arroios Urbanos. Parabéns pelo trabalho.