

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

PATRÍCIA DALL'AGNOL

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE  
DE DADOS CONJUNTOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DE SEDIMENTOS :  
APLICAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

CURITIBA

2016

PATRÍCIA DALL' AGNOL

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE  
DE DADOS CONJUNTOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DE SEDIMENTOS :  
APLICAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, Setor  
de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como  
requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia  
Ambiental.

Orientador: Prof. Tobias Bleninger.

CURITIBA

2016



*Dedico este trabalho a todos aqueles que me apoiaram com paciência, palavras de incentivo, apoio nas disciplinas, aulas particulares, abraços e ombro amigo.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por todas as coisas boas que tenho, pelas oportunidades, lições e pessoas incríveis que vem colocando em minha vida.

À minha família: minhas tias, padrinhos e primos que sempre me apoiaram; aos meus avós por serem a luz da minha vida; aos meus pais por terem me dado a vida; em especial à minha mãe por estar sempre por perto mesmo estando longe; aos meus três irmãos que são as pessoas que mais amo na vida; à Rose e ao Martinho por nos acolherem como filhos.

Ao professor Cristóvão que é uma das minhas maiores referências, obrigada por ser como um pai ao longo desses seis anos.

Ao meu Orientador, Prof. Tobias por ter me acolhido, obrigada por sua dedicação e paciência.

Aos professores, Ana Flávia, Ricardo Godoi, Eduardo, Heloise e Jean que passaram conhecimentos técnicos e, mesmo sem perceber deram outras lições para a vida.

Ao meu namorado Raul, que tem sido meu apoio nesse último ano, mesmo à altas horas, nos momentos mais difíceis e estressantes. Obrigada por dividir comigo seus pais!

Tenho muito o que agradecer a todos os amigos e colegas do PPGERHA: Luis Carlos, Heloise, Maurícius, Professora Maria Cristina, Professor Sérgio, Celmar, Aninha, Dani, Camila, Bruna, Júlio, Carol, Lu, Marcelo e Ellen.

As minhas amigas que ao longo de 10 anos estão ao meu lado em todos os momentos e que tenho certeza que estarão por muitos anos: Ana e Helenize.

Aos meus colegas e amigos de faculdade, Matheus, Gabriele, Rena, Érika, Melina, Gabriel, João Pedro, Leandro, Leon, Rafael, Rodrigo sem vocês com certeza teria sido muito mais difícil, obrigada pelas risadas, pelos puxões de orelha e pela ajuda nos estudos.

Ao meu afilhado, Rafael que ainda não sabe ler, mas que um dia vai entender minha ausência e aos meus compadres por me darem esse presente.

A todos os amigos de caminho, que sempre estão prontos a dar uma palavra de conforto e para promover encontros tão renovadores principalmente a Tainara, Fernanda, Juliana, Giovanna, Guilherme, Sophi e Melvin.

À todos que me ajudaram tanto nas análises do laboratório, na leitura do TCC e com as análises dos dados: Lu, Carol, Elisiane (LAMIR), Daniel (LABS) e Raul.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CONSEQUÊNCIAS DO LANÇAMENTO DE CARGA ORGÂNICA EM UM CURSO D'ÁGUA. ....	24
FIGURA 2 - DIAGRAMA COM TRANSPORTE DE SEDIMENTO E DEPOSIÇÃO DO MATERIAL DE FUNDO DE ACORDO COM AS CARACTERÍSTICAS DA SEÇÃO. ...	28
FIGURA 3 - DEFINIÇÃO DAS PARTÍCULAS SEGUNDO O DIÂMETRO. ....	29
FIGURA 4 - DIAGRAMA DE HJULSTRÖM. ....	30
FIGURA 5 - ESTRUTURA GERAL DO SINGREH. ....	34
FIGURA 6 - DIVISÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ. ....	37
FIGURA 7 - UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ. ....	37
FIGURA 8 -COMITÊS DE BACIAS INSTALADOS NO ESTADO DO PARANÁ. ....	38
FIGURA 9- GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS COM OUTROS SETORES. ....	41
FIGURA 10 - MAPA MENTAL SOBRE OS ATORES ENVOLVIDOS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. ....	42
FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DE CONTAMINANTES QUÍMICOS EM CINCO FAIXAS DE QUALIDADE E SUA RELAÇÃO COM OS CRITÉRIOS TEL E PEL. ....	44
FIGURA 12 - AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO PARA OS PONTOS MONITORADOS. ....	46
FIGURA 13 - AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO PARA OS TRECHOS MONITORADOS. ....	46
FIGURA 14- MAPA DOS PONTOS DE MONITORAMENTO. ....	50
FIGURA 15 - HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO DE DADOS DA BACIA DO ALTO E MÉDIO IGUAÇU. ....	52
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DE ANÁLISE DE SEDIMENTO. ....	57
FIGURA 17 - TRIÂNGULO DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DA EMBRAPA – ....	63
FIGURA 18 - FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO ESTABELECIDAS PELA CETESB. ....	66
FIGURA 19 - FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO PROPOSTAS NESTE TRABALHO. ....	67
FIGURA 20 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO RIO IGUAÇU. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS	

APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.....	73
FIGURA 21 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO PALMITAL. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.....	76
FIGURA 22 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO RIO ATUBA. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.....	77
FIGURA 23 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO BELÉM. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.....	78
FIGURA 24 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO BARIGUI.....	79
FIGURA 25 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C53.....	80
FIGURA 26 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C54.....	81
FIGURA 27 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C55.....	82
FIGURA 28 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C56.....	83
FIGURA 29 - BOX PLOT DA MATÉRIA ORGÂNICA (%) NO SEDIMENTO PARA OS DADOS REGISTRADOS EM TODAS AS CAMPANHAS. LINHA ROXA SUPERIOR INDICA QUE OS VALORES ACIMA DO LIMITE CLASSIFICADO COMO PÉSSIMO	84
FIGURA 30 - BOX PLOT DAS CONCENTRAÇÕES DE COT (MG/G) NO SEDIMENTO PARA TODAS AS CAMPANHAS REGISTRADAS NA BASE DE DADOS POR PONTO DE MONITORAMENTO.....	86
FIGURA 31 - BOX PLOT DAS CONCENTRAÇÕES DE COD (MG/L) PARA AS AMOSTRAS DE ÁGUA NO RIO IGUAÇU.....	87
FIGURA 32 - BOX PLOT DE DBO (MG/L) PARA AS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	87
FIGURA 33 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DA MO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E MÉDIOS OBSERVADOS	89

FIGURA 34 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DA MO (%) POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES AGRUPADOS PARA AS MÉDIAS DAS CAMPANHAS DE DOIS ANOS.....	90
FIGURA 35 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DA MO (%) POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NAS ESTAÇÕES DO ANO.....	91
FIGURA 36 - GRÁFICOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA EM ORDEM CRESCENTE PARA AS CONCENTRAÇÕES DE FT NO SEDIMENTO: A) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, B) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS.....	92
FIGURA 37 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE FT NO SEDIMENTO...	93
FIGURA 38 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE FT NA ÁGUA .....	94
FIGURA 39 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E MÉDIOS OBSERVADOS	96
FIGURA 40 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES AGRUPADOS PARA AS MÉDIAS DAS CAMPANHAS DE DOIS ANOS.....	97
FIGURA 41 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NAS ESTAÇÕES DO ANO	98
FIGURA 42 - GRÁFICOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA EM ORDEM CRESCENTE PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NT NO SEDIMENTO: A) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, B) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS.....	99
FIGURA 43 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NT NO SEDIMENTO	100
FIGURA 44 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NT NA ÁGUA.....	101
FIGURA 45 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE NT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E MÉDIOS OBSERVADOS DENTRE AS 25 CAMPANHAS .....	102
FIGURA 46 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE NT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES AGRUPADOS PARA AS MÉDIAS DAS CAMPANHAS DE DOIS ANOS.....	103
FIGURA 47 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE NT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NAS ESTAÇÕES DO ANO .....	104
FIGURA 48 - CRUVAS GRANULOMÉTRICAS DO PONTO IG4 PARA DIFERENTES MÉTODOS DE DESAGLUTINAÇÃO DAS PARTÍCULAS.....	115
FIGURA 49 - CURVA CALIBRAÇÃO PARA NT NA CAMPANHA C39.....	117

FIGURA 50 - CURVA CALIBRAÇÃO PARA NT NA CAMPANHA C42.....	117
FIGURA 51 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO IGUAÇU .....	120
FIGURA 52 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO PALMITAL .....	120
FIGURA 53 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO ATUBA .....	121
FIGURA 54 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO BELÉM .....	122
FIGURA 55 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO BARIGUI.....	122

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- VALORES COBRADOS E ARRECADADOS ENTRE 2013 E 2014 NO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO RIO RIBEIRA PELO USO DA ÁGUA .....	36
TABELA 2- DADOS SOBRE A BACIA .....	47
TABELA 3 - DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS CALCULADA ATRAVÉS DO SHAPE DE HIDROGRAFIA DA ANA (1:1.000.000) .....	48
TABELA 4 - FREQUÊNCIA DE CAMPANHAS POR PONTO DE MONITORAMENTO PARA AMOSTRAS DE ÁGUA .....	53
TABELA 5 - FREQUENCIA DE CAMPANHAS POR PONTO DE MONITORAMENTO PARA AMOSTRAS DE SEDIMENTO .....	54
TABELA 6 - DETERMINAÇÃO DAS FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO .....	65
TABELA 7 - DETERMINAÇÃO DOS VALORES MÁXIMOS PARA SEDIMENTO ....	65
TABELA 8 - DADOS REFERENTES ÀS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS TESTES DE DESAGLUTINAÇÃO PARA IG4 .....	116
TABELA 9 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES E ABSORBÂNCIAS PARA DIFERENTES DILUIÇÕES DAS AMOSTRAS DO IG1 .....	118

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PRINCIPAIS AGENTES POLUIDORES DAS ÁGUAS.....	25
QUADRO 2- ENQUADRAMENTO DOS RIOS NA BACIA DO ALTO IGUAÇU.....	39
QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PONTOS DE MONITORAMENTO .....	51
QUADRO 4 - MÉTODOS E PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	59
QUADRO 5 - MÉTODOS E PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO SEDIMENTO .....	60
QUADRO 6 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL OBTIDA ATRAVÉS DO TRIÂNGULO DA EMBRAPA NAS CAMPANHAS C53,C54,C55 E C56 PARA CADA PONTO MONITORADO .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ABNT / NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas

As – Arsênio

Cd – Cádmio

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CF – Coliformes Fecais

COALIAR - Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

Cr – Cromo

CT – Coliformes Totais

Cu - Cobre

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FT – Fósforo Total

Hg - Mercúrio

MO – Matéria Orgânica

Pb – Chumbo

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

Ni – Níquel

NT – Nitrogênio Total

OD – Oxigênio Dissolvido

OMEE - Ontario Ministry of the Environment and Energy

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Potencial Hidrogeniônico

Q 70% - Indica que as vazões são maiores ou iguais a ela durante 70% do tempo

SD – Sólidos Dissolvidos

SF – Sólidos Fixos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SMA – Secretaria de Meio Ambiente

SS – Sólidos Suspensos

SSed – Sólidos Sedimentáveis

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos voláteis

UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez

Zn – Zinco

TEL – Threshold Effect Level (Nível de efeito limite)

PEL – Probable Effect Level (Nível de efeito provável)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
<b>1.2</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>POLUIÇÃO E INTERFERÊNCIA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>SEDIMENTOS EM LEITOS DE RIOS</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – VISÃO GERAL</b>	<b>33</b>
2.3.1	O SINGREH : Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos	34
2.3.2	Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos	35
2.3.3	Recursos hídricos no estado do Paraná	36
<b>2.4</b>	<b>REFLEXÕES SOBRE A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA</b>	<b>40</b>
<b>2.5</b>	<b>CETESB E O MONITORAMENTO DE ÁGUAS INTERIORES</b>	<b>44</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>47</b>
<b>3.2</b>	<b>PONTOS DE MONITORAMENTO</b>	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS</b>	<b>52</b>
3.3.1	Compilação e integração dos dados	52
3.3.2	Apresentação dos resultados	56
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISE DE SEDIMENTO</b>	<b>56</b>
3.4.1	Coleta das amostras	58
3.4.2	Preparo das amostras	58
3.4.3	Análises físico químicas	58
<b>3.5</b>	<b>UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SIG PARA APRESENTAÇÃO DOS DADOS</b>	<b>64</b>
3.5.1	Shapes e base no SIG	64
3.5.2	Definição dos critérios de classificação e da divisão dos trechos	64
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIABILIDADE FÍSICA DOS SEDIMENTOS</b>	<b>68</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>CURVAS GRANULOMETRICAS E ANÁLISE TEXTURAL</b>	<b>69</b>
4.1.1	Rio Iguaçu – Principal	71
4.1.2	Afluentes – Rio Palmital, Rio Atuba, Rio Barigui e Rio Belém	74
4.1.3	Mapas de classificação textural dos pontos de monitoramento	79
<b>4.2</b>	<b>MATÉRIA ORGÂNICA – ÁGUA E SEDIMENTO</b>	<b>84</b>
4.2.1	Análise dos dados	84
4.2.2	Mapas para MO no sedimento	88
<b>4.3</b>	<b>FÓSFORO TOTAL – ÁGUA E SEDIMENTO</b>	<b>92</b>

4.3.1	Análise dos dados .....	92
4.3.2	Mapas para FT no sedimento .....	94
<b>4.4</b>	<b>NITROGÊNIO TOTAL – ÁGUA E SEDIMENTO.....</b>	<b>99</b>
4.4.1	Análise dos dados .....	99
4.4.2	Mapas para NT no sedimento .....	101
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>108</b>
<b>7</b>	<b>MATERIAL SUPLEMENTAR .....</b>	<b>115</b>
7.1	TESTE DE DESAGLUTINAÇÃO E PREPARO DAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS.....	115
7.2	CONSISTÊNCIA DOS RESULTADOS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS NO SEDIMENTO .....	116
7.3	HISTOGRAMAS DE DIVISÃO DAS FRAÇÕES NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO .....	119

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água em um rio é reflexo das atividades realizadas na bacia hidrográfica em questão, assim como do uso e ocupação do solo, da existência de indústrias ou áreas agricultáveis, e de fontes pontuais e difusas de poluição (CETESB, 2016). Os parâmetros na coluna d'água indicam a condição da qualidade de um corpo hídrico no momento em que as amostras são coletadas, enquanto a análise quali-quantitativa dos sedimentos pode caracterizar a distribuição geográfica, o aporte e o histórico de poluição em longo prazo (LONG & CHAPMAN, 1985; CETESB, 2016).

Neste contexto, a análise do sedimento possibilita inferir sobre o desenvolvimento antrópico da região e sobre as alterações do ambiente aquático e suas comunidades biológicas (ESTEVES, 2011). Isso é possível porque as partículas sólidas que compõem os grãos de sedimentos possuem a propriedade de adsorver e armazenar metais e outros compostos poluidores que não permanecem solúveis na coluna d'água. Entretanto, os sedimentos também podem agir como fonte poluidora podendo resuspender e disponibilizar esses contaminantes de acordo com variações das condições ambientais através da água intersticial para a coluna d'água (BEVILACQUA, 1996; ESTEVES, 2011).

No entanto, a legislação brasileira de classificação e enquadramento de corpos d'água não considera ou impõe limites de qualidade para os sedimentos. Os sedimentos são legislados apenas quando se trata de dragagem e deposição de material de leito de fundo, através da resolução CONAMA n°. 454/2012 (BRASIL, 2012). A nível internacional os sedimentos passaram a integrar a análise da qualidade da água, visando principalmente estabelecer limites para a preservação da biota aquática (CCME, 1999 ; EC, 2010). Já a nível nacional, apesar de não existirem normativas neste sentido, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) utiliza os padrões canadenses para classificação da qualidade dos sedimentos (CETESB, 2016).

Essa lacuna na legislação brasileira, quanto à delimitação de parâmetros físico-químicos para sedimentos em contato com a coluna d'água, é apenas mais uma das discussões que precisa ser aprofundada na agenda sobre o enquadramento de recursos hídricos no Brasil. Adicionalmente, apesar da existência

de diversos parâmetros de qualidade da água e de sedimentos, e da complexa interação e interferência que há entre eles, o enquadramento em algumas bacias hidrográficas considera critérios e parâmetros de qualidade simplificados (BITENCOURT & FERNANDES, 2015).

Por exemplo, no estado do Paraná, para a bacia do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira, o Art. 4º da Resolução COALIAR nº. 04/2013 (PARANÁ, 2013) utiliza apenas a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) como parâmetro de qualidade da água para o enquadramento dos rios, impondo como critério a utilização da Q70% como vazão de referência para todos os estudos de qualidade da água. As incertezas associadas a parâmetros de qualidade da água impõem o desafio de estabelecer novas condições e critérios para seu enquadramento.

O processo de tomada de decisões em gestão de bacias hidrográficas devem ser baseadas no conhecimento sobre as variáveis ambientais e do efeito que a pressão urbana exerce sobre os recursos naturais. Portanto é notável que apesar de ser necessária a implantação do conceito de gestão integrada de recursos hídricos levantada com a PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos) através da Lei Federal nº. 9.433/1997 (BRASIL, 1997), ainda há inúmeros fatores a serem estabelecidos e colocados em prática (PORTO & PORTO, 2008).

Sendo assim, o desenvolvimento da sensibilidade crítica frente ao comportamento dos corpos hídricos sobre o impacto antrópico é resultado do acompanhamento e monitoramento da dinâmica dos parâmetros de qualidade da água e do sedimento. Através da aquisição frequente de dados do sistema real é possível caracterizar as bacias hidrográficas, tanto pela obtenção de resultados modelados, como de resultados reais, que baseiem ações de melhoria e remediação (FORMIGONI *et al.*, 2001; PORTO & PORTO, 2008).

Neste contexto, e com o objetivo de se adotar uma visão holística sobre os diversos parâmetros de qualidade da água e de sedimentos para a gestão dos recursos hídricos, este trabalho avalia a caracterização física dos sedimentos através das curvas granulométricas e análise textural.

Os dados também foram relacionados de forma integrada com os parâmetros químicos de qualidade da água e sedimento para as médias de: COT (carbono orgânico total), MO (matéria orgânica), NT (nitrogênio total) e FT (fósforo total) no sedimento, e para a coluna d'água: DBO (demanda biológica de oxigênio), NT, FT,

pH (potencial hidrogeniônico), temperatura e COD . Essas análises dos sedimentos foram conduzidas buscando padronizar, aprofundar e aprimorar as técnicas analíticas laboratoriais.

Os dados analisados são provenientes de 25 campanhas de monitoramento ao longo de 23 pontos do rio Iguaçu e quatro de seus afluentes da margem direita para sua análise de variação temporal e espacial. Adicionalmente , considerando o fato do estudo ser em uma bacia altamente urbanizada como a do Alto Iguaçu, será apresentada uma análise descritiva e uma análise do uso e ocupação do solo através de *shapes* e mapas criados através do *software* ArcGIS® (ESRI, 2011), semelhante ao que já é feito pela CETESB também para rios urbanos (CETESB, 2016).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho visou analisar e agrupar dados de qualidade da água e de sedimento obtidos em 23 pontos de monitoramento localizados nas bacias do Alto e Médio Iguaçu. Adicionalmente, o presente estudo teve como objetivo analisar integradamente os parâmetros físico-químicos da água e sedimento a fim de fornecer uma ferramenta de gestão de bacias através da identificação de áreas críticas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar análises físico-químicas nas amostras de sedimentos para quatro campanhas de monitoramento.
- Organizar uma base de dados com os resultados do monitoramento em trechos dos rios: Iguaçu, Palmital, Belém, Barigui e Atuba para parâmetros de qualidade do sedimento que servirá para este e futuros estudos.
- Agrupar os resultados de análises físico-químicas do sedimentos realizadas entre 2015 e 2016 com os dados já disponíveis para anos anteriores.
- Estabelecer critérios de faixas de classificação para NT, FT e MO no sedimento e produzir, através do *software* ArcGIS® (ESRI, 2011), mapas e *shapes*:

da classificação dos sedimentos de acordo com a faixas observadas no monitoramento de cada parâmetro físico-químico.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Para uma melhor organização do documento, este trabalho de conclusão de curso foi organizado e dividido em cinco seções.

Seção 1: apresentada anteriormente, introduz o leitor ao tema geral e apresenta os objetivos do trabalho.

Seção 2: apresenta uma revisão bibliográfica sobre a qualidade da água e o papel do sedimento como fonte ou sumidouro de poluentes. Revisa a PNRH e os instrumentos legais para a gestão dos recursos hídricos, dando enfoque para a aplicação dos instrumentos na Bacia do Alto e Médio Iguaçu. Apresenta também uma metodologia de classificação e análise da qualidade dos sedimentos utilizada pela CETESB para os rios de São Paulo.

Seção 3: engloba os procedimentos adotados para a obtenção dos resultados a serem apresentados neste trabalho. Primeiramente contextualiza o local de estudo e os pontos monitorados. Em seguida apresenta a metodologia adotada para agrupar os dados de monitoramento em uma base de dados unificada. Descreve os procedimentos laboratoriais para as análises físico-químicas das amostras de sedimento. Por fim, descreve os passos para a criação de mapas no ArcGIS® (ESRI, 2011), capazes de mostrar através da classificação dos parâmetros químicos do sedimento os trechos críticos da bacia estudada.

Seção 4: contém os resultados obtidos através de *box plot* e mapas indicativos da qualidade do sedimento, sendo dividido em resultados para as características físicas do sedimento, MO, FT e NT. Adicionalmente apresenta uma tabela com uma estimativa do fluxos de NT e FT entre a interface água-sedimento.

Seção 5: agrupa as considerações finais do trabalho e inclui uma lista de atividades e propostas de melhoria a serem desenvolvidas no sentido de aprofundar a pesquisa iniciada com esse trabalho.

Seção 7: apresenta o material suplementar contendo explicações mais detalhadas do procedimento de desaglutinação do sedimento para análise granulométrica; alguns resultados sobre a consistência da base de dados; gráficos

sobre a composição do sedimento e a dedução da relação utilizada para converter FT e NT de mg/g para mg/L.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A água é essencial para a manutenção de todas as formas vivas na Terra, além de servir como agente de recebimento, diluição e transporte de efluentes (FREIRE & OMENA, 2005). Adicionalmente, a Resolução CONAMA n°. 357/2005 (BRASIL, 2005) cita outros usos preponderantes para a água como: abastecimento público; atendimento da vida biológica nos ambientes aquáticos; irrigação; dessedentação animal; navegação, além da produção energética e uso industrial.

Considerando a dependência de água para a realização de inúmeras atividades humanas e para a preservação da vida biológica, há uma preocupação cada vez maior sobre a escassez da água, que pode ser atribuída a dois principais fatores: o quantitativo, quando a demanda é maior que a oferta de água disponível, e o qualitativo, quando existe disponibilidade de água, porém poluída (TUCCI, 2006).

O fator quantitativo pode estar atribuído à distribuição heterogênea de água entre as diferentes regiões do globo terrestre, associado ao próprio ciclo hidrológico e à capacidade do rio de armazenar água no subsolo (TUCCI, HESPANHOL & NETTO, 2000). Além disso, outro fator responsável pela escassez é o uso excessivo (ONU, 2012) que está relacionado com a retirada global de água de aquíferos e bacias hidrográficas e que triplicou nos últimos 50 anos. No Brasil, a irrigação é o setor que utiliza quase a metade dos recursos hídricos, alcançando 46% do total retirado, e em segundo lugar aparece o consumo humano urbano, com 27% e com 18% o uso industrial (MMA, ANA & PNUMA, 2007).

Os rios que atravessam regiões altamente urbanizadas sofrem efeitos diretos pela poluição pontual proveniente de despejos domésticos e industriais *in natura*. Já a poluição de fontes difusas é decorrente do escoamento superficial, variando de acordo com o uso do solo (TUCCI, HESPANHOL & NETTO, 2000). Esses são alguns dos inúmeros fatores que contribuem com a escassez proveniente da baixa qualidade da água disponível.

O aporte de algumas fontes de poluição são dificilmente quantificadas. Essa limitação na quantificação é decorrente da complexidade atrelada à dinâmica de aporte e transporte de poluentes em uma bacia hidrográfica. Isso se deve porque algumas fontes de poluição são provenientes de condições naturais da própria bacia. Por exemplo, compostos encontrados na água e no sedimento podem estar

atrelados à características geológicas e geomorfológicas da região, do tipo da cobertura vegetal da bacia hidrográfica e do comportamento da biota terrestre e aquática (ESTEVES, 2011).

Considerando os diversos usos da água e que parte dos recursos hídricos disponíveis está em condições inferiores à qualidade necessária, a Resolução CONAMA nº. 357/2005 (BRASIL, 2005) faz a distinção entre alguns usos preponderantes da água e estabelece o atendimento ao limite máximo para alguns parâmetros de qualidade da água. Essa resolução impõe critério mais ou menos restritivos de acordo com a destinação da água retirada. Nesse mesmo sentido, a PNRH (BRASIL, 1997) estabelece instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, que irão servir como mecanismos para garantir qualidade e quantidade das águas disponíveis.

Para propor formas de gestão dos recursos hídricos é essencial o acompanhamento da qualidade da água (FORMIGONI *et al.*, 2001; PORTO & PORTO, 2008). O monitoramento contínuo fornece informações sobre alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais. É fundamental que concomitante ao levantamento dos dados de qualidade seja feita a determinação da vazão, de forma a possibilitar a estimativa da carga de poluentes afluentes (FORMIGONI *et al.*, 2001; ANA, 2015).

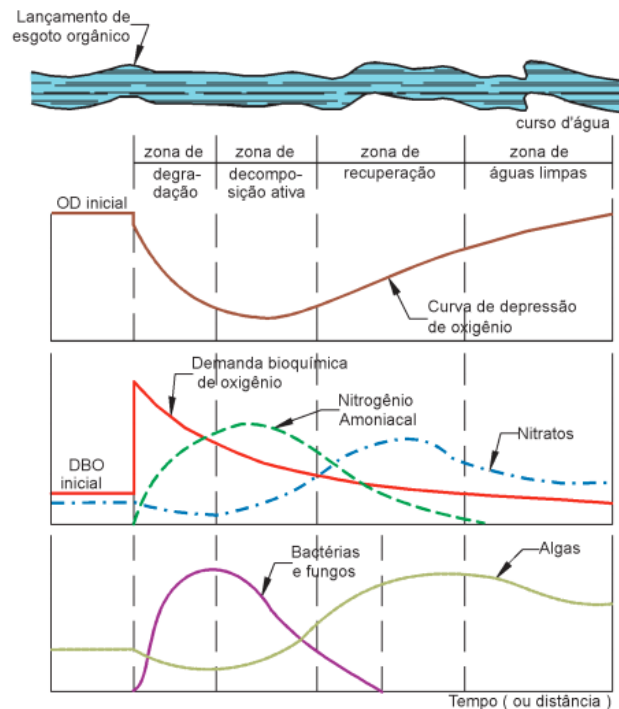
Complementarmente ao monitoramento de vazões e de parâmetros de qualidade da água, estudos têm adicionado a avaliação e monitoramento da qualidade dos sedimentos como parâmetro avaliador da qualidade da água (DOMBROSKI, FERNANDES & SIQUEIRA, 2012 ; FROEHNER *et al.*, 2012). Os sedimentos passaram a ter um papel importante depois que pesquisas verificaram a existência de troca e/ ou interações de espécies químicas entre a água e o sedimento, o que também interfere na biota local. Isso indica que o sedimento não é apenas uma camada acumuladora e armazenadora de nutrientes e contaminantes, mas que também pode atuar como fonte de poluentes (LONG & CHAPMAN, 1985; NASCIMENTO & MOZETO, 2008; ESTEVES, 2011).

## 2.1 POLUIÇÃO E INTERFERÊNCIA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS

Conceitualmente, segundo Braga *et al.* (2002), a poluição da água é caracterizada como qualquer alteração de origem natural ou antrópica, que cause impacto negativo nas características físicas, estéticas e ecológicas da água. A poluição é relativa aos usos pretendidos para a água, e pode ser causada por via pontual, ou seja, de forma concentrada, podendo ser mais facilmente medida, enquanto na via difusa a quantificação do aporte da poluição é mais difícil já que o aporte é distribuído ao longo de uma extensão (BRAGA *et al.*, 2002 ; VON SPERLING, 2005).

Os corpos hídricos possuem uma capacidade natural de autodepuração, que está associada à recuperação da qualidade e do equilíbrio natural do meio aquático. Assim como para o conceito de poluição, que leva em consideração os usos previstos para o recurso hídrico, a autodepuração também será considerada como efetiva, quando a característica da água estiver em acordo com a utilização prevista. A autodepuração é definida como um fenômeno de sucessão ecológica, no qual o meio tende a substituir sucessivamente, em diferentes estágios, a comunidade a fim de restabelecer o equilíbrio das condições locais (VON SPERLING, 2005). É importante conhecer os usos previstos para determinado trecho do rio, bem como os aspectos da dinâmica de depuração deste local e também os aportes característicos da bacia de drenagem, para que a capacidade do corpo d'água não seja ultrapassada. Inclusive a Resolução CONAMA n°. 357/2005 (BRASIL, 2005) que trata sobre a classificação de corpos hídricos, indica que os limites para alguns parâmetros podem ser flexibilizados desde que haja o entendimento sobre os processos de autodepuração do rio em questão (BRASIL, 2005).

A FIGURA 1 ilustra o comportamento de parâmetros, como DBO e OD, partir da entrada de uma fonte de carga poluidora, que poderia ser o lançamento de esgotos domésticos, por exemplo. O aporte de uma carga poluente altera as concentrações dos parâmetros que indicam a qualidade da água. É possível observar que há uma relação entre o consumo de matéria orgânica, representada pela DBO, e a redução nas concentrações de OD devido às atividades biológicas (MOTA, 1995).



**FIGURA 1 - CONSEQUÊNCIAS DO LANÇAMENTO DE CARGA ORGÂNICA EM UM CURSO D'ÁGUA.**

**FONTE: MOTA, 1995.**

As curvas apresentadas na FIGURA 1 mostram o fenômeno de autodepuração que ocorre em ambientes aquáticos. É possível identificar zonas de recuperação distintas. O reestabelecimento das condições naturais podem estar relacionados com fenômenos de decomposição biológica como ocorre para compostos orgânicos por exemplo, ou através da sedimentação das partículas poluidoras. Portanto o mecanismo de eliminação das partículas poluentes está relacionada com o tipo da substância poluidora (MOTA, 1995).

Os principais agentes poluidores das águas, são classificados de acordo com sua natureza e seus principais efeitos, como mostra o QUADRO 1. As fontes podem ser provenientes de aportes naturais ou de ações antrópicas, e cada contaminante possui uma forma de mensuração através dos parâmetros de qualidade, que irá indicar a concentração direta ou indireta desses constituintes na água (BRAGA *et al.*, 2002; VON SPERLING, 2005).

**QUADRO 1 - PRINCIPAIS AGENTES POLUIDORES DAS ÁGUAS**

CONSTITUINTE	FONTE	DECOMPOSIÇÃO	PRINCIPAL PARÂMETRO REPRESENTATIVO	POSSÍVEL EFEITO POLUIDOR
Matéria orgânica biodegradável (principalmente proteínas, carboidratos e gorduras)	Lixiviação de resíduos sólidos Esgotos Origem natural	Decomposição por bactérias aeróbias, caso haja OD; Decomposição anaeróbia, sem OD, havendo a formação de gases	DBO (mg / L)	Consumo de oxigênio Mortandade de peixes Condições sépticas
Matéria orgânica não biodegradável	Defensivos agrícolas Detergentes sintéticos Petróleo	Depende da existência de organismos capazes de realizar essa digestão	Pesticidas Alguns detergentes Produtos farmacêuticos Outros DQO (mg /L)	Toxicidade ( vários) Espumas ( detergentes) Redução de transferência de O2 (detergentes) Biodegradabilidade reduzida ou inexistente Maus odores ( ex. fenóis) Possibilidade de bioacumulação
Calor	Usinas termelétricas e efluentes industriais Radiação solar		Temperatura (°C)	Afeta característica físicas, químicas e biológicas.
Nutrientes	Provenientes da erosão do solo Uso de fertilizantes artificiais agrícolas Decomposição natural da matéria orgânica biodegradável no solo e na água	De acordo com a forma em que estiver disponível pode servir para o metabolismo biológico Podem ser decompostos em várias formas (mais ou menos tóxicas)	Nitrogênio (mg/L) Fósforo (mg/ L)	Crescimento excessivo de algas Toxicidade aos peixes ( amônia) Doenças recém-nascidos (nitrato) Poluição de águas subterrâneas

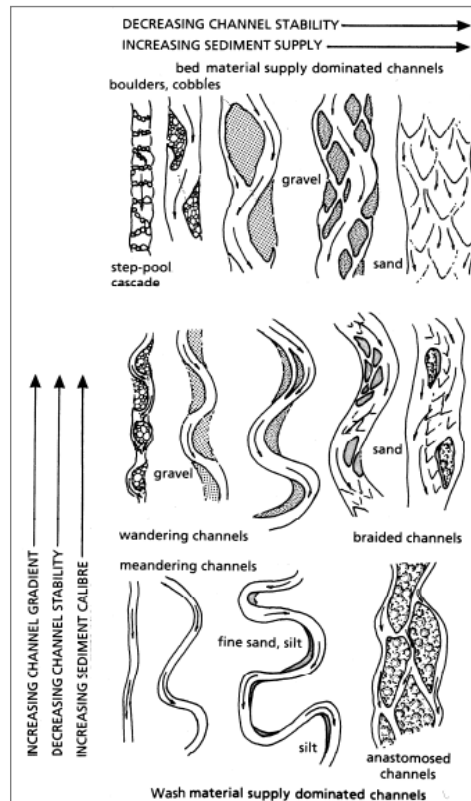
CONSTITUINTE	FONTE	DECOMPOSIÇÃO	PRINCIPAL PARÂMETRO REPRESENTATIVO	POSSÍVEL EFEITO POLUIDOR
Metais	Fontes naturais Fontes antrópicas como: agrotóxicos, despejos industriais, percolações em lixões, chumbo das canalizações.	Organismos aquáticos podem ser sensíveis ou bioacumular, potencializando o efeito ao longo da cadeia alimentar. Redução na capacidade de autodepuração das águas	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc) em mg/L	Toxicidade e cont. água subterr. Inibição do tratamento biológico dos esgotos Deposição nos sedimentos Problemas na disposição do lodo na agricultura
Organismos Patogênicos (bactérias, vírus, protozoários, etc)	Esgotos domésticos e hospitalares Despejos de indústrias		Coliformes termotolerantes Coliformes totais	Doenças de veiculação hídrica
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Esgotos domésticos Efluentes industriais		Sólidos dissolvidos totais (mg/L) Condutividade elétrica	Salinidade excessiva – prejuízo às plantações (irrigação) Toxicidade a plantas (alguns íons) Problemas de permeabilidade do solo (sódio)
Sólidos em suspensão	Esgotos domésticos Efluentes industriais	Podem sedimentar	Sólidos em suspensão totais (mg/L) Sólidos Sedimentáveis (ml/L) Turbidez (NTU)	Problemas estéticos Depósitos de lodo Adsorção de poluentes Proteção de patogênicos Interferência na fotossíntese Desequilíbrio na cadeia alimentar
Radioatividade	Fontes naturais (provenientes do espaço exterior) Fonte antrópica ( bélicos, energéticos, pesquisa, etc)	Possibilidade de bioacumulação		De acordo com a exposição pode provocar doenças como o câncer Pode afetar células envolvidas na reprodução

FONTE: Adaptado de VON SPERLING, (2005) e BRAGA *et al.* (2002)

## 2.2 SEDIMENTOS EM LEITOS DE RIOS

Além da coluna d'água, outra camada avaliada no estudo das condições da qualidade da água é o sedimento, que é composto de grãos particulados de areia, silte, argila ou matéria orgânica que são transportados pelas correntes (CARERE *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2000). Segundo Carvalho *et al.* (2000), os sedimentos são oriundos do ciclo das rochas. Quando há a erosão do solo, as rochas ficam expostas e passam por intemperismo, processo pelo qual condições ambientais diferentes das de sua origem (temperatura, pressão, ação da água, etc) ocasionam a desintegração dessas. Esse processo dá origem ao solo, que pode ser carregado através da ação do vento e da água, mas principalmente através do escoamento superficial (CARVALHO *et al.*, 2000).

Apesar de o sedimento ser considerado como material particulado que se deposita no leito dos corpos hídricos, ele pode resuspender ou se movimentar através das correntes de água (GRIFFIN, WINDOM & GOLDBERG, 1968; CHAMLEY, 1989). De acordo com os efeitos de turbulência e da velocidade e movimentação das correntes de escoamento do rio ou de reservatórios, as partículas carregadas podem ser depositadas gradativamente no leito, ou permanecerem como material suspenso (ESTEVES, 2011). Em ambientes lênticos e lóticos os processos de sedimentação são análogos, com sedimentos mais finos depositando-se nas regiões de baixas velocidades. Sendo assim, o sedimento de fundo de rio é resultado de depósito do material proveniente da erosão na bacia, do leito e das margens. A composição dos sedimentos varia de acordo com o solo de origem das partículas transportadas pela água, mas de forma geral é composto por água intersticial e matéria orgânica e inorgânica depositada no fundo dos corpos hídricos (KASICH, TAYLOR & NALLY, 2012). A FIGURA 2 ilustra o mecanismo de deposição dos sedimentos de acordo com as características geomorfológicas do rio. É possível observar que os sedimentos variam com a largura da seção, a velocidade de escoamento e o formato do rio.



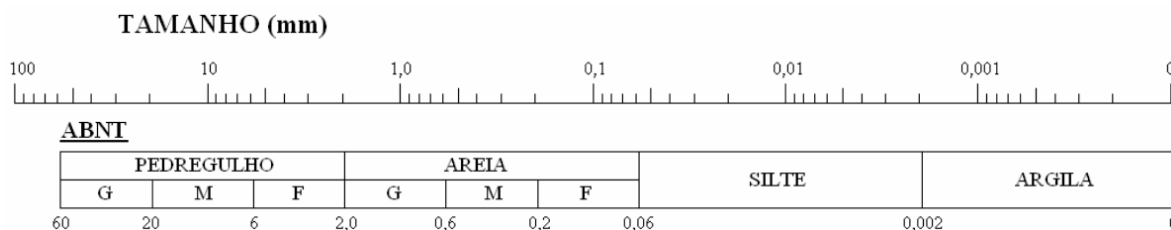
**FIGURA 2 - DIAGRAMA COM TRANSPORTE DE SEDIMENTO E DEPOSIÇÃO DO MATERIAL DE FUNDO DE ACORDO COM AS CARACTERÍSTICAS DA SEÇÃO.**

**FONTE: CHURCH,1996**

Os sedimentos desempenham um papel importante no ciclo de elementos no ambiente aquático (ESTEVES, 2011). Dentre outras propriedades, os sedimentos são responsáveis pelo transporte de uma proporção significativa de contaminantes orgânicos adsorvidos em suas partículas, que se ligam, preferencialmente, às partículas mais finas, de elevada área superficial (frações abaixo 0.063 mm) (KASICH, TAYLOR & NALLY, 2012; JUNAKOVA, BALINTOVA & PETRILAKOVA, 2013). As partículas com pequenos diâmetros, como o caso de silte e argila, têm cargas elétricas desequilibradas e capacidade específica de reter água intersticial maior, o que proporciona às frações finas uma maior reatividade e interatividade química, física e biológica (KASICH, TAYLOR & NALLY, 2012).

O solo e os sedimentos de fundo podem ser classificados de acordo com o tamanho das partículas que os compõe. Neste trabalho, a classificação é realizada de acordo com as normas da ABNT (FIGURA 3), que propõe a seguinte definição:

pedregulho grãos entre 60 e 2 mm; areia grãos entre 2 e 0,06 mm; silte grãos entre 0,06 e 0,002 mm e argila grãos menores que 0,002 mm (ABNT,1995).



**FIGURA 3 - DEFINIÇÃO DAS PARTÍCULAS SEGUNDO O DIÂMETRO.**

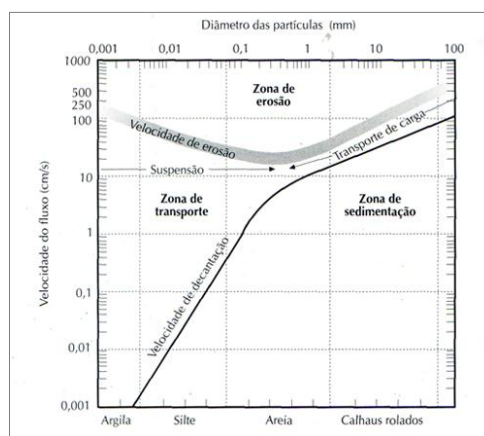
**FONTE:** Adaptado de ABNT, 1995.

Existem interações complexas entre o meio água-sedimento, e a disponibilização de compostos para a coluna d'água ou a adsorção nos grãos é dependente de inúmeras condições (ESTEVES, 2011). O tamanho das partículas sólidas é uma das condicionantes que determinam a capacidade adsorptiva de poluente dos grãos. Estudos ao redor do mundo mostram que as características físicas dos grãos são determinantes para essa capacidade de armazenamento de poluentes. Em amostras de solo em Guangzhou, sul da China, verificou-se que de maneira geral, as concentrações de metais aumentam de acordo com a diminuição do tamanho das partículas de solo (BI, LIANG & LI, 2013). Em ambientes aquáticos este comportamento é semelhante, por exemplo, estudos realizados em amostras de sedimentos no reservatório de Klusov, Eslováquia Oriental, comprovaram através de análises de distribuição granulométrica a dependência entre as concentrações de nutrientes no sedimento e o seu tamanho de partícula. Os maiores teores de nutrientes nos sedimentos de fundo foram determinados em sedimentos de grão fino (<0.063 mm de diâmetro das partículas) que neste caso foram transportados e depositados em direção à represa (JUNAKOVA, BALINTOVA & PETRILAKOVA, 2013).

A análise das dimensões das partículas também é importante para conhecer informações sobre a origem do solo e da rocha degradada, a composição mineral, e sobre o mecanismo de transporte e deposição associado a cada tipo de grão. A análise da distribuição de tamanho de partícula fornece bases para compreender as características químicas dos grãos, uma vez que as propriedades físicas e químicas

dos contaminantes são altamente correlacionadas com a distribuição física das partículas de sedimento (GULLIVER, ERICKSON & WEISS, 2010). As curvas granulométricas são uma forma de representar a distribuição dos tamanhos das partículas de uma amostra de solo ou sedimento (CARVALHO et al., 2000). De acordo com o formato das curvas e baseado no percentual retido em cada categoria de tamanho, é possível determinar se um solo possui distribuição de grãos mais ou menos homogênea.

O transporte e deposição de sedimentos diminui a capacidade de armazenamento dos reservatórios de hidrelétricas, além de causar outras falhas mecânicas e a abrasão de turbinas (CARVALHO et al., 2000). Considerando que a base da energia elétrica brasileira é majoritariamente hidrelétrica nesse sentido, no Brasil, o interesse em monitorar os sedimentos se concentra em termos quantitativos (carga de sedimento transportado) ou de características físicas. Sendo assim, as amostras de partículas suspensas na coluna d'água ou sedimentadas coletadas nas redes sedimentométricas de hidrelétricas, são avaliadas em termos da composição física através das curvas granulométricas. Nestes casos o interesse no estudo dos sedimentos se concentra em determinar a composição física dos grânulos para compreender a dinâmica de transporte e deposição dessas partículas (CARVALHO et al., 2000). O diagrama de Hjulström (FIGURA 4) que relaciona o diâmetro das partículas com a velocidade de escoamento serve como uma boa indicação sobre os mecanismos existentes no corpo hídrico. Pois relacionando o tamanho das partículas com a velocidade é possível inferir se os sedimentos estão na zona de erosão, sedimentação ou transporte.



**FIGURA 4 - DIAGRAMA DE HJULSTRÖM**

Em relação à qualidade da água, os sedimentos são importantes pois possuem capacidade de armazenar poluentes e materiais traço, apresentando concentrações para determinadas substância em níveis muito maiores do que na água, além de servir como um reservatório de nutrientes (ESTEVEES, 2011). Além disso, a camada entre a água e o sedimento é onde ocorre a maioria dos processos de oxidação e redução de compostos (ESTEVEES, 2011). Pode-se fazer a seguinte analogia: análises de qualidade em amostras de água representam uma fotografia momentânea da condição do ambiente, em contrapartida análises em amostras de sedimento representam um filme (WHITFIELD, 2001; ESTEVEES, 2011). O despejo de um poluente na coluna d'água se dilui rapidamente comparativamente com o que ocorre no sedimento, já que as partículas sólidas têm a capacidades de armazenar informações (LONG & CHAPMAN, 1985; ESTEVEES, 2011; CETESB, 2016). Como resultado desse armazenamento, as comunidades biológicas associadas ao sedimento (por exemplo, macroinvertebrados bentônicos, peixes e comunidade perifítica) são amplamente afetadas por poluentes, sendo então também importantes bioindicadores da qualidade ambiental (GOULART & CALLISTO, 2003).

Apesar das evidencias sobre o potencial, tanto de armazenamento de determinadas partículas insolúveis em água, como da capacidade de resuspensão e disponibilização de outros compostos anteriormente agragados ao sedimento (BEVILACQUA, 1996; ESTEVEES, 2011), no Brasil não há legislação para delimitar a qualidade da água levando em consideração o sedimento de fundo de rios, reservatórios e oceanos. Para orientar estudos sobre o impacto de sedimentos nos recursos hídricos utiliza-se a Resolução CONAMA n°. 454/2012 (BRASIL, 2012), que expressa sobre dragagem de leitos, adotando os critérios de qualidade estabelecidos pelo CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment.

A listagem de parâmetros para a qualidade do sedimento utilizada pela CCME são inter relacionados e fornecem valores guia para a qualidade dos sedimentos (VGQS - values of sediment quality). Os dois valores guia para a classificação dos sedimentos são : nível 1 denominado TEL (*Threshold Effect Level*) limite para o qual abaixo é previsto baixa probabilidade de efeitos negativos à biota, e o nível 2 denominado PEL (*Probable Effect Level*) nível para o qual acima é previsto um provável efeito negativo à biota (CCME, 1999). Assim como já havia sido constatado por Chapman (1990) e Long & Chapman (1985) os sedimentos possuem efeitos

sobre a biota, e esses podem ser verificados através da “tríade de qualidade de sedimentos”. Essa tríade funciona como um tripé orientador para as análises de sedimento, inicialmente proposta para avaliar o grau de degradação dos sedimentos marinhos e estuarinos visando os efeitos deletérios sobre a comunidade biológica. As três classes de análises da qualidade dos sedimentos são: bentos (estrutura da comunidade bentônica), toxicidade (teste de toxicidade) e parâmetros químicos (metais e hidrocarbonetos poliaromáticos) (CHAPMAN, 1996).

O enfoque dado pela resolução CONAMA n°. 454/2012 (BRASIL, 2012) é um pouco distinto do proposto por Champan (1996) e pela CCME (1999) pois visa avaliar a qualidade dos sedimentos que serão dragados e dispostos em solo ou em outras águas de jurisdição nacional. Essa resolução determina uma avaliação prévia das características físicas dos sedimentos. Caso o material seja composto 100% por areia e granulometrias superiores ou, que sua fração de areia grossa, muito grossa, cascalho ou seixo seja igual ou superior a 50%, análises químicas, ecotoxicológicas e de outros estudos complementares podem ser dispensadas. Em concordância com a necessidade de que o sedimento apresente uma composição granulométrica mínima para ser necessária a análise de parâmetros químicos é indicado que caso as amostras não contenham pelo menos 30% de silte, o ponto de monitoramento deve ser alterado (KASICH, TAYLOR & NALLY, 2012). Isso reforça o interesse nas frações finas para as análises dos parâmetros químicos.

Quando necessária a análise de parâmetros do sedimento, a lista pode conter mais de 40 itens (CCME, 1999; BRASIL, 2012). Entretanto comumente no Brasil os estudos são focados para nutrientes e metais. Por exemplo, na bacia do alto Iguaçu, Dombroski, Fernandes & Siqueira (2012) avaliaram % MO, COT, % FT, % NT e os metais pesados Cd, Cr, Cu, Ni, Zn e Pb. Os pontos à jusante da área estudada apresentaram composição majoritariamente de partículas finas e, com elevados teores de NT, FT, carbono e metais.

Buscando classificar os sedimentos também conforme a resolução CONAMA n°. 454/2012 (BRASIL, 2012), Martins & Froehner (2008) selecionaram seis pontos de monitoramento no rio Barigui, onde analisou as curvas granulométricas, as concentrações de NT, FT, COT e de metais. Os resultados das análises mostraram que as altas concentrações de NT e FT no sedimentos indicam um aporte de esgotos domésticos, principalmente nas áreas urbanas.

## 2.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – VISÃO GERAL

Buscando reduzir a degradação e escassez dos recursos hídricos, algumas medidas normativas e de controle, para a preservação e mitigação da poluição nos corpos hídricos foram inseridas no contexto de gestão de recursos hídricos. Através de instrumentos de gestão tornou-se possível regular e controlar os usos da água. Os países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil, passaram a dar enfoque para o gerenciamento e preservação dos recursos hídricos de forma semelhante aos países desenvolvidos (PORTO & PORTO, 2008). Porém isso ocorreu em épocas distintas, visto que comparativamente a exploração dos recursos naturais iniciou tardiamente (TUCCI, 2004).

A Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que instituiu a PNRH, é considerada como um marco no ponto de vista institucional para a gestão dos recursos hídricos brasileiros, pois visa garantir o acesso à água para todos, determinando os usos prioritários em casos de escassez. Instituiu ainda, a bacia hidrográfica como a unidade territorial de controle e de implementação da PNRH e criou o SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos), trazendo também o conceito de descentralização participativa para a gestão dos recursos hídricos, considerando que o poder decisório pode ser realizado na esfera local da bacia hidrográfica (DINIZ *et al.*, 2006).

Segundo Collischonn & Tassi (2008), uma bacia hidrográfica pode ser definida como:

A área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias e cada uma das sub-bacias pode ser considerada uma bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico sujeito a entradas de água (eventos de precipitação) que gera saídas de água (escoamento e evapotranspiração). A bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento). A área, comprimento e declividade da bacia são variáveis dependentes das características do relevo local.

Todas as atividades sobre uma bacia hidrográfica podem interferir na qualidade da água: áreas urbanas e impermeabilizadas, áreas agricultáveis, regiões

com cobertura vegetal podem acarretar em aporte atrófico ou natural de contaminantes.

O conceito de gestão integrada de recursos hídricos e, o poder decisório na esfera local da bacia hidrográfica citado na lei das águas, é resultado das experiências internacionais. É na bacia hidrográfica onde ocorre a interação da água com fatores físicos, biológicos, econômicos, cultural e social de cada região (YASSUDA, 1993). Isto posto e, tendo em vista a grande extensão territorial do Brasil, foi realizada a divisão do território em 12 macros regiões, as chamadas Regiões Hidrográficas, através da Resolução nº. 32/2003 (BRASIL, 2003), visando a aplicação da PNRH e do SINGREH.

### 2.3.1 O SINGREH : Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos

São objetivos do SINGREH: coordenar a gestão integrada das águas; gerenciar os conflitos relacionados com os recursos hídricos e seus usos múltiplos; implementar a PNRH; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos. Isso é feito através dos órgãos que compõe o SINGREH, que são separados de acordo com a esfera de atuação (ANA, 2013) com mostra a FIGURA 5 , apresentando as divisões nas escalas estadual e nacional.



**FIGURA 5 - ESTRUTURA GERAL DO SINGREH.**

FONTE: ENCA, 2007.

### 2.3.2 Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos

O 5º artigo da lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997) cita os instrumentos para a gestão dos recursos hídricos. Aplicados em conjunto, os instrumentos possibilitam um planejamento quanto ao uso dos recursos hídricos, bem como visam o atendimento dos diversos usos da água e a recuperação e manutenção da qualidade e quantidade de água disponível. São seis os instrumentos:

1. Planos de Recursos Hídricos: consiste em uma análise ampla realizada através de um diagnóstico completo, para conhecer a situação atual dos rios; vislumbrar os padrões de qualidade futuros para os corpos hídricos e com base nas limitações existentes, apresentar o quadro possível para a qualidade do rio possível de ser alcançada. Além disso, o plano apresenta um conjunto de ações, através de um planejamento inteligente e participativo, podendo ser realizado na escala da bacia hidrográfica, em nível, estadual ou federal, de acordo com o tipo do rio.
2. Enquadramento dos corpos hídricos, em classes, de acordo com seus usos: é considerada uma ferramenta de gestão, pois classifica os rios, de acordo com o nível de qualidade a ser alcançado e mantido ao longo do tempo, visando atender à qualidade requerida ao uso mais exigente ao qual a água daquele rio foi destinada (DINIZ *et al.*, 2006).
3. A outorga para o direito do uso dos recursos hídricos: é a autorização necessária para todas as atividades que utilizam a água para fins econômicos e que causam impacto sobre quantidade ou qualidade da água. É uma ferramenta de regularização e regulamentação do uso da água de quem usa ou lança resíduos nos corpos hídricos, realiza obras que alterem quantidade e qualidade, ou realiza outras atividades impactantes nos corpos hídricos.
4. A cobrança pelo uso da água: tem como objetivos dar ao usuário uma forma de mensurar o valor da água, incentivar o racionamento e obter recursos para recuperação das bacias aonde são arrecadados. É uma forma de arrecadação de recurso por um bem público, cobrança que varia de acordo com a quantidade utilizada e/o tipo de poluição.

No estado do Paraná apenas a Bacia do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira possuem a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Os valores arrecadados

e cobrados, entre os anos de 2013 e 2014, pelo uso da água na bacia do Alto Iguaçu e Afluente do Rio Ribeira estão apresentados na TABELA 1.

**TABELA 1- VALORES COBRADOS E ARRECADADOS ENTRE 2013 E 2014 NO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO RIO RIBEIRA PELO USO DA ÁGUA**

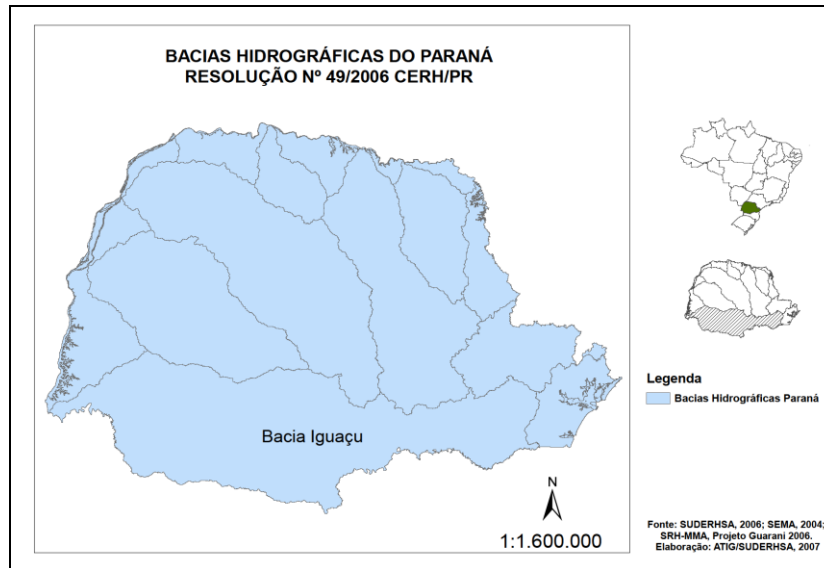
<b>ANO</b>	<b>COBRADO (R\$)</b>	<b>ARRECADADO (R\$)</b>
2013	945.204,00	945.372,00
2014	2.412.325,00	2.292.072,00

**FONTE: ANA, 2016.**

5. A compensação aos municípios: assim como o instrumento de cobrança pelo uso da água, é um instrumento de incentivo econômico com valor ajustado de acordo com a escassez e demanda, para um gerenciamento mais adequado das águas, semelhante a um pagamento por serviço ambiental (PORTO & PORTO, 2008).
6. O sistema de informações sobre recursos hídricos: é a apresentação de dados brutos transformados em informações que são necessárias e utilizadas no processo decisório sobre os recursos hídricos. Nesse sistema de informações há a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre os rios. Há um portal online onde estão disponíveis o Sistema de Monitoramento Hidrológico (Telemetria), o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos, mapas diversos (de outorgas, domínio de cursos d'água, abastecimento urbano de água, etc.), entre outras informações.

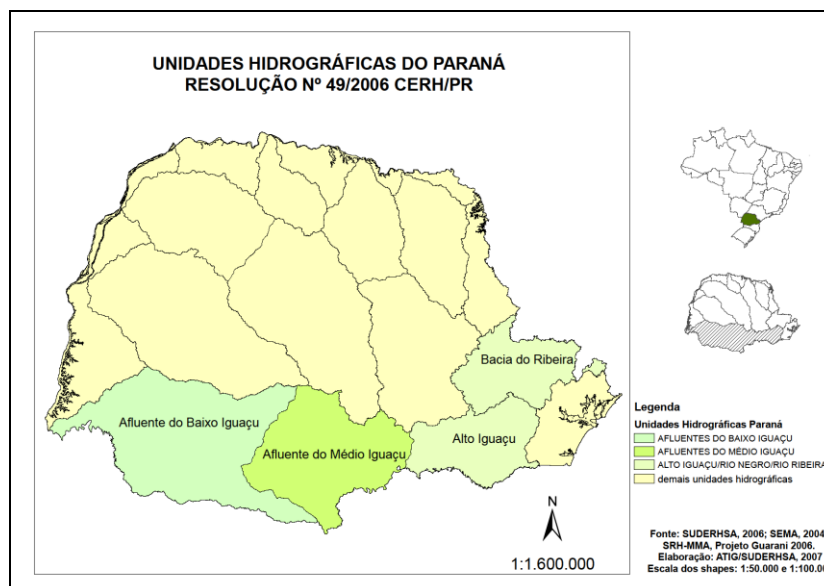
### 2.3.3 Recursos hídricos no estado do Paraná

O estado do Paraná é banhado por algumas regiões hidrográficas, compartilhando com outros estados três regiões hidrográficas: Região Hidrográfica do Atlântico Sul, Região Hidrográfica do Paraná e Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. Através da Resolução do CERH/PR nº 49/2006 (PARANÁ, 2006), o estado paranaense foi dividido em 16 bacias hidrográficas (FIGURA 6) e em 12 Unidades Hidrográficas (FIGURA 7). No parágrafo dessa resolução define-se que a unidade hidrográfica tem área de abrangência que pode ser a bacia hidrográfica na sua totalidade, conjunto de bacias hidrográficas ou parte de bacias hidrográficas.



**FIGURA 6 - DIVISÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ.**

Este trabalho de conclusão de curso tem como escopo os estudos das seguintes unidades hidrográficas: Unidade hidrográfica dos Afluentes do Médio Iguaçu e a Unidade hidrográfica do Alto Iguaçu/ Afluentes do Rio Negro/ Afluentes do Rio Ribeira. Sendo escolhidas as áreas das unidades hidrográficas que se encontram na Bacia Hidrográfica do Iguaçu.

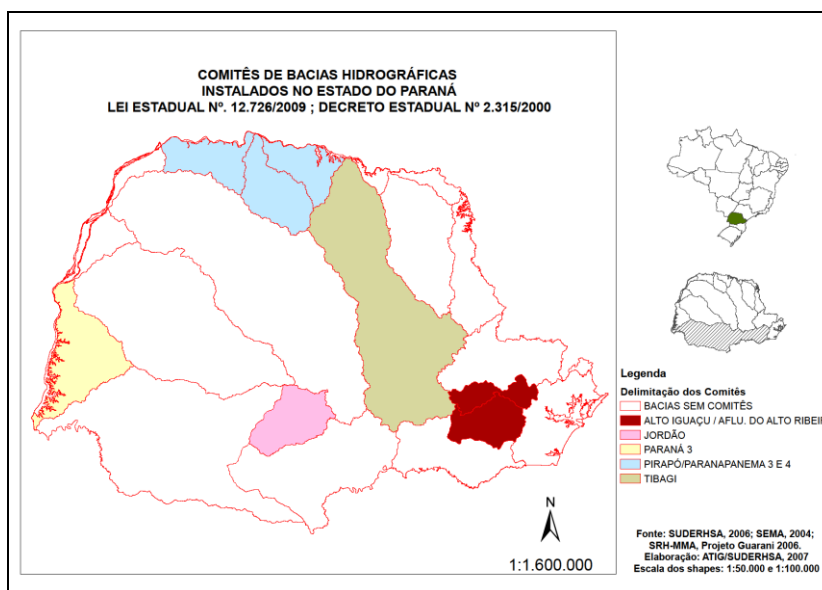


**FIGURA 7 - UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ.**

Para a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas e de Gerenciamento dos Recursos Hídricos algumas bacias hidrográficas foram agrupadas em uma mesma unidade hidrográfica. A divisão dos comitês de bacia se fez através da junção da Lei Estadual nº. 12.726/2009 (PARANÁ, 1999) que instituiu a Política estadual de Recursos Hídricos, juntamente com o Decreto Estadual nº 2.315/2000, que regulamenta o processo de instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica. Por definição legal, os Comitês de Bacia Hidrográfica são órgãos colegiados de decisão das ações a serem implementadas na sua área de abrangência, tendo por principais atribuições:

- Aprovar o Plano de Bacia;
- Propor critérios para outorga do uso dos recursos hídricos;
- Aprovar propostas de cobrança e estipular valores para o uso dos recursos hídricos.

Atualmente, no Paraná, estão instalados 5 Comitês de Bacias: Alto Iguaçu/Afluentes do Alto Ribeira ; Jordão; Tibagi; Paraná 3 e Pirapó/Paranapanema 3 e 4 (FIGURA 8). Cabe ressaltar um cuidado na interpretação do significado das bacias hidrográficas, unidades hidrográficas e áreas dos comitês de bacias. Vale destacar que o comitê de Bacias do Alto Iguaçu/Afluentes do Alto Ribeira engloba parte da bacia do Ribeira e parte da bacia do alto Iguaçu, denominada de Altíssimo Iguaçu.



**FIGURA 8 -COMITÊS DE BACIAS INSTALADOS NO ESTADO DO PARANÁ.**

A Resolução COALIAR n.º 04/2013 (PARANÁ, 2013) determina a classificação dos rios localizados na bacia do Alto Iguaçu. O QUADRO 2 apresenta as classes de cada trecho. Excetuando os trechos listados, os demais rios na área de abrangência do COALIAR são classe 2. Majoritariamente os trechos listados no QUADRO 2 possuem metas progressivas menos restritivas, apenas o rio Palmital está enquadrado como classe 2. Outro destaque é a baixa qualidade pretendida para o rio Atuba, que tem classificação 4 da nascente até a foz.

**QUADRO 2- ENQUADRAMENTO DOS RIOS NA BACIA DO ALTO IGUAÇU.**

<b>RIO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CLASSE ENQUADRAMENTO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>
Rio Iraí/Rio Iguaçu	Da confluência do Rio Iraí com o Rio Iraízinho até a captação BR 277 da SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.180.336 N e 682.030 E	3	São José dos Pinhais, Piraquara, Pinhais
Canal artificial paralelo ao Rio Iguaçu	Do seu início, junto à BR 415, até a captação BR 277 da SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.180.336 N e 682.030 E.	3	São José dos Pinhais, Piraquara
Rio Iguaçu e Canal artificial paralelo ao Iguaçu	A jusante da captação BR 277 da SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.180.336 N e 682.030 E, até a foz do rio Itaqui, em Balsa Nova.	4	Curitiba, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Araucária, Balsa Nova, Lapa, Contenda
Rio Iguaçu	Da foz do rio Itaqui até as corredeiras em Porto Amazonas	3	Balsa Nova, Porto Amazonas
Rio Atuba	Da sua nascente até sua foz.	4	Alm. Tam., Colombo, Piraquara, Ctba, Pinhais

			conclusão
RIO	DESCRIÇÃO	CLASSE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO
Rio Palmital	De sua nascente até a captação da SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.196.574,00N e 684.780,00E.	2	Colombo
Rio Palmital	Da captação da SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.196.574,00N e 684.780,00E, até sua foz.	3	Colombo, Pinhais
Rio Belém	De sua nascente até o Bosque do Papa	3	Curitiba
Rio Belém	Do Bosque do Papa até sua foz	4	Curitiba
Rio Barigúí	De sua nascente até a futura captação SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.201.344 N e 672.424 E.	2	Almirante Tamandaré
Rio Barigúí	A jusante da futura captação SANEPAR, nas coordenadas UTM 7.201.344 N e 672.424 E até o vertedouro do lago do Parque Barigúí.	3	Almirante Tamandaré Curitiba
Rio Barigúí	Do vertedouro do lago do Parque Barigúí até a sua foz.	4	Curitiba, Araucária

Fonte: Adaptado de Paraná, 2013.

#### 2.4 REFLEXÕES SOBRE A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA

O modelo do gerenciamento dos recursos hídricos adotado no Brasil é reflexo da experiência internacional, já implantado ou em fase de implantação nos países desenvolvidos, como Alemanha, França, Inglaterra e Portugal. Esse modelo é caracterizado pela gestão descentralizada, com atuação nas delimitações das bacias hidrográficas, locais onde a demanda de água é objetivo do planejamento plurianual e que conta com intervenções públicas para o uso eficiente e abrangente desses recursos (YASSUDA, 1993).

Apesar de definidas as premissas para a gestão dos recursos hídricos no território brasileiro; da existência da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) sobre classificação dos corpos hídricos de acordo com os usos previstos para a água; bem como a definição das competências de cada órgão que compõe o SINGREH e da delimitação das áreas para a aplicação e implementação dos instrumentos apresentados na lei das águas, ainda existem desafios a serem vencidos para a gestão eficaz dos recursos hídricos.

Alguns autores criticam o fato de não haver integração entre as diversas políticas públicas do setor ambiental com a política de recursos hídricos (PORTO & PORTO, 2008 ; TUCCI, HESPAHOL & NETTO, 2000). Fica evidente que as preocupações com a qualidade e disponibilidade da água são proporcionais ao interesse em usos com maior valor econômico agregado, por exemplo, a geração de hidroenergia, para o qual os parâmetros de quantidade (vazão e disponibilidade de água, queda e altura) superam os interesses com a manutenção dos parâmetros de qualidade (PORTO & PORTO, 2008). A gestão integrada de recursos hídricos deve estar articulada com outros setores e com as demais políticas para que possa ser colocada realmente em prática (FIGURA 9) (ANA, 2013).



**FIGURA 9- GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS COM OUTROS SETORES.**  
**FONTE: ANA, 2013.**

Complementarmente, além das dificuldades em integrar as diversas políticas públicas como forma de melhoria colaborativa para os atores do meio ambiente, há limitações na aquisição e processamento de dados (através do monitoramento e transformação de dados em resultados) e do estabelecimento legal para alguns parâmetros que definem a qualidade ambiental. Existem lacunas, por exemplo, como as já citadas sobre a legislação sobre sedimentos.

Com base nisso, a FIGURA 10 apresenta um mapa mental sobre como a gestão de recursos hídricos está relacionada: a questões legais, a qualidade dos dados físico-químicos de monitoramento, e ao conhecimento sobre o uso do solo da bacia hidrográfica.



**FIGURA 10 - MAPA MENTAL SOBRE OS ATORES ENVOLVIDOS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

O solo e os recursos hídricos estão intrinsecamente relacionados, por isso se faz tão importante estudar e compreender essas relações para uma melhor gestão desses recursos (CARVALHO *et al.*, 2000). Na lei das águas está explicitado que a articulação entre a gestão dos recursos hídricos e o uso do solo é considerada uma das diretrizes para a implementação da PNRH. Machado (2002) avaliou a produção de sedimentos através de escoamento na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Martins (Piracicaba, SP), relacionando a produção sedimentar com o uso do solo através do modelo matemático Swat juntamente com ferramentas de SIG (sistema

de informações georreferenciadas), através da ferramenta SWAT – ArcView. A vantagem da utilização de ferramentas de SIG consiste no agrupamento de diversas informações (uso do solo, topografia, hidrografia) possibilitando a manipulação dos dados de forma relativamente simples, visto que a junção desta ferramenta com modelos possibilita a criação e visualização de distintos cenários. Observou-se, neste contexto, que nesta bacia o teste para o cenário que substitui regiões de pastagem por vegetação nativa acarretava em diminuição das áreas mais sujeitas à erosão e transporte de sedimentos na bacia (MACHADO, 2002).

O monitoramento e um banco de dados sobre recursos hídricos são essenciais para várias atividades de gestão, tais como: planejamento, fiscalização, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água (ANA, 2015). As etapas do monitoramento da qualidade da água em um rio são essenciais para gerar dados confiáveis e representativos. Por isso, é necessário o estabelecimento de algumas premissas iniciais, como a delimitação dos objetivos pretendidos com os dados obtidos. Com base nisso, são determinados os locais para a coleta das amostras (georreferenciando os pontos) e definido o planejamento sobre a periodicidade e frequência temporal das campanhas e são definidos os parâmetros (físicos, químicos e biológicos) a serem analisados. Com isso no final podem ser geradas informações que definam, com a melhor precisão possível, as condições da qualidade das águas (ANA, 2015).

No estado do Paraná a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu representa uma área de grande interesse na gestão dos rios por ser uma bacia altamente urbanizada. Esta bacia possui comitê de bacias, plano de recursos hídricos e enquadramento, e conseqüentemente há uma gama maior de pontos de monitoramento e dados, tanto sobre as estações monitoradas, como mapas e informações geoespaciais, disponibilizados no portal online do Instituto das Águas do Paraná.

É importante analisar os resultados dos dados obtidos pelo monitoramento para que eles possam ser utilizados como base e ferramentas de gestão. Uma maneira de produzir informações objetivas e de fácil entendimento para o gestor ou mesmo para a população envolvida na bacia hidrográfica é gerar relatórios, boletins, mapas e gráficos, para que dessa forma possam auxiliar no que tange o planejamento de ações de melhoria, na fiscalização ou na melhoria contínua do monitoramento.

## 2.5 CETESB E O MONITORAMENTO DE ÁGUAS INTERIORES

No cenário nacional, o projeto QualiSed (desenvolvido entre as instituições UFSCar, UNICAMP e CETESB), objetivou aprofundar o conhecimento sobre o comportamento dos sedimentos nos corpos hídricos, através de pesquisas na bacia hidrográfica do Rio Tietê. Sendo assim, considera-se que a visão adotada pela CETESB para diagnosticar e avaliar a qualidade das águas e dos sedimentos é uma referência em estudos nesse mesmo sentido. Em termos de parâmetros de qualidade da água são avaliadas 60 variáveis (físicas, químicas, hidrobiológicas, microbiológicas e ecotoxicológicas) e 40 para os sedimentos (físicas, químicas, hidrobiológicas e toxicológicas). Para as análises de sedimentos, os critérios são semelhantes aos apresentados na CONAMA n°. 454/2012 (BRASIL, 2012) e pela CCME (1999). Os relatórios da qualidade das águas interiores do estado de São Paulo (CETESB, 2016) classifica os sedimentos em 5 níveis (FIGURA 11), e considera o TEL, como nível de baixo efeito e o PEL, como provável efeito negativo sobre a biota.



**FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DE CONTAMINANTES QUÍMICOS EM CINCO FAIXAS DE QUALIDADE E SUA RELAÇÃO COM OS CRITÉRIOS TEL E PEL.**

**FONTE: CETESB, 2016**

A camada de fundo dos rios é avaliada em termos de algumas linhas de evidência principais: contaminação química, avaliada através de parâmetros para arsênio, metais e compostos orgânicos; comunidade bentônica, sendo mensurada através do índice de comunidade bentônica; qualidade microbiológica do sedimento, por meio das variáveis coliformes e *Clostridium perfringens*, além dos critérios de toxicidade. Sendo assim, o prognóstico químico para os sedimentos é feito como sendo: qualidade ÓTIMA valores abaixo da TEL; BOA valores até metade do valor da faixa entre TEL e PEL; REGULAR valores da metade superior da faixa entre TEL e

PEL até o valor de PEL; RUIM os valores 1,5 X acima de PEL e PÉSSIMA acima disso (CETESB, 2016).

Nas avaliações realizadas nas unidades hidrográficas de São Paulo, além dos parâmetros considerados para a delimitação dos índices apresentados acima, também são consideradas essenciais as medições no sedimento para: pH (potencial hidrogeniônico), Eh (potencial redox), conteúdo orgânico (carbono orgânico total - COT ou resíduos voláteis), SVA (sulfetos volatilizáveis em ácido), granulometria, umidade e MO. Nas águas intersticiais, nitrogênio amoniacal e oxigênio dissolvido são parâmetros importantes para acompanhar ensaios ecotoxicológicos e de bentos. Em rios ocorre deposição de sedimentos finos no período da seca e lavagem desse material nas chuvas. Desta forma, a CETESB indica que para caracterização e diagnóstico, bem como em programas de monitoramento da qualidade de sedimentos, uma única coleta anual no período de seca pode ser adequada.

Os diagnósticos das bacias hidrográficas do estado de São Paulo realizados pela CETESB contam com uma análise das características de cada região hidrográfica (atividades econômicas, características de saneamento básico, uso e ocupação do solo, etc), possibilitando então a apresentação de índices de qualidade da água e do sedimento. Além disso, utilizando a tríade de qualidade de sedimentos (CHAPMAN, 1990), são criados mapas dos níveis de poluição para cada ponto monitorado (FIGURA 12 e FIGURA 13). Finalmente são apresentadas propostas de melhoria levando em consideração os recursos arrecadados através do instrumento da cobrança.

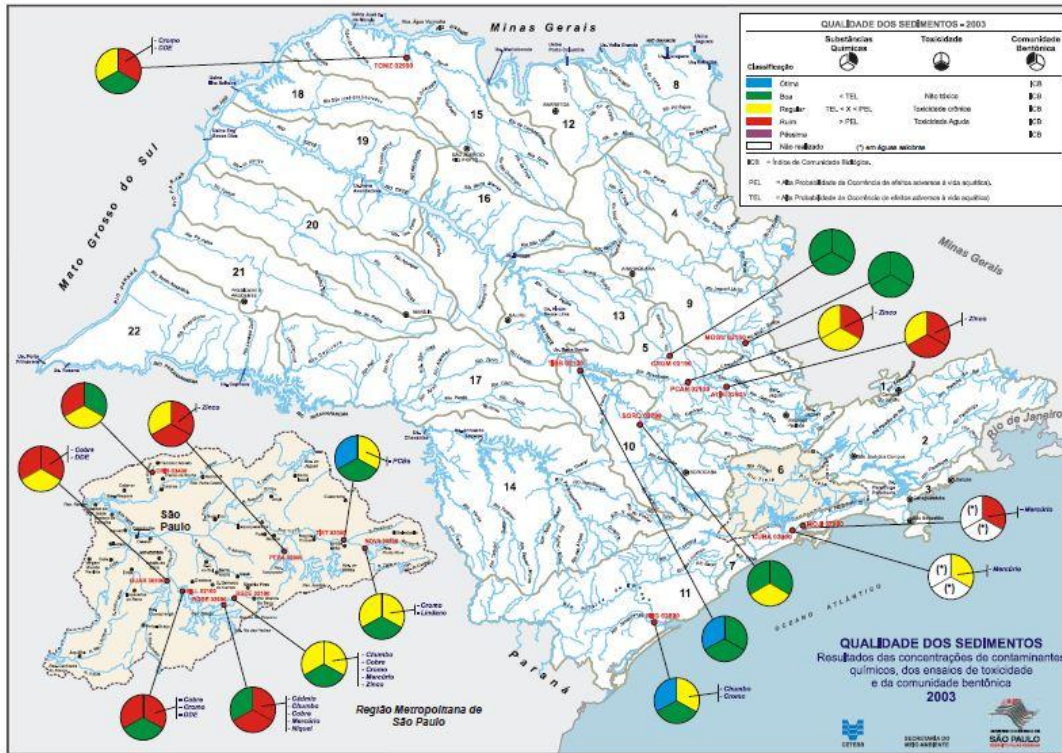


FIGURA 12 - AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO PARA OS PONTOS MONITORADOS.  
 FONTE: CETESB, 2016

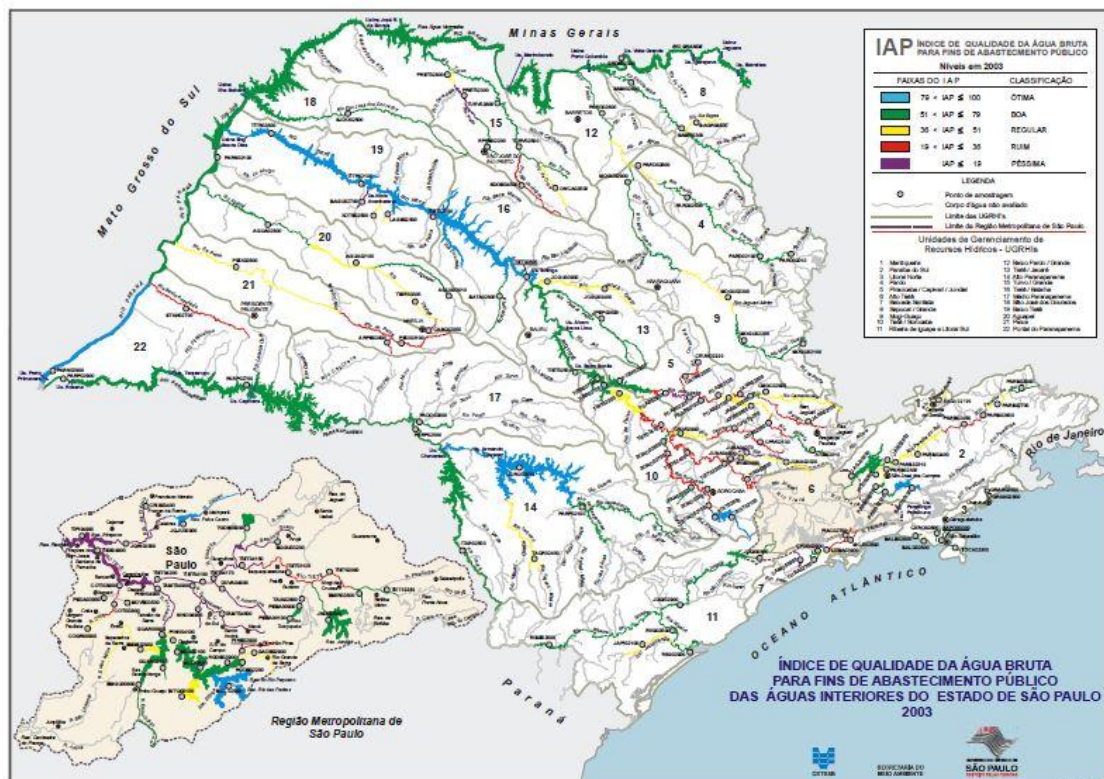


FIGURA 13 - AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO PARA OS TRECHOS MONITORADOS  
 FONTE: CETESB, 2015

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Rio Iguaçu com nascente na serra do mar, possui 1.320 km de extensão, até sua foz no Rio Paraná. É considerado um dos principais rios da região hidrográfica do Rio Paraná. A área total de drenagem do Rio Iguaçu é de aproximadamente 70.799 km<sup>2</sup>, sendo 80% da área no estado do Paraná, 16,5% em Santa Catarina e 3% na Argentina. A bacia do rio Iguaçu é dividida em três regiões hidrográficas: Alto, Médio e Baixo Iguaçu (SILVA, BARBORA & FORMIGA, 2011). Fazem parte das bacias do Alto e Médio Iguaçu 54 municípios no estado do Paraná, e deste 15 são apenas da bacia do Alto Iguaçu que engloba a cidade de Curitiba e parte da Região Metropolitana. A TABELA 2 apresenta as áreas correspondentes para cada unidade hidrográfica e a população urbana e rural no ano de 2004 (SNIS,2004).

**TABELA 2- DADOS SOBRE A BACIA**

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	POPULAÇÃO - NÚMERO DE HABITANTES (2004)		
		URBANA	RURAL	TOTAL
Iguaçu	54.820,4	3.750.462	655.420	4.405.882
Alto Iguaçu e Alto Ribeira	20.010	2.908.548	317.206	3.225.754
Médio Iguaçu	17.950	287.831	134.245	422.076

**Fonte: Adaptado de SEMA & IAP, 2010.**

A extensão do rio Iguaçu que corta a sub-bacia do Alto Iguaçu é de 90 km e atravessa áreas altamente urbanizadas, com aproximadamente 3 milhões de habitantes, o que interfere na qualidade da águas de seus tributários e por consequência do rio principal. A urbanização concentra-se principalmente nas bacias dos rios Barigui, Belém, Atuba e Palmital. Os demais usos do solo dividem-se principalmente entre culturas temporárias, campos e outros tipos de vegetação, com

predomínio de usos agrícolas, restando assim, pouca cobertura florestal sobre a bacia (SEMA & IAP, 2010; FERNANDES, AZEVEDO, PORTO *et al.*, 2014).

Este estudo abrange as bacias do Alto e Médio Iguaçu e engloba uma área de 28.259,44 Km<sup>2</sup>. O trecho da nascente do rio Iguaçu até o último ponto de monitoramento nesse mesmo rio é de 386 Km, atravessando a cidade de Cuitiba até o município de União da Vitória. A TABELA 3 mostra a distância entre cada ponto de monitoramento.

**TABELA 3 - DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS CALCULADA ATRAVÉS DO SHAPE DE HIDROGRAFIA DA ANA (1:1.000.000)**

<b>PONTO</b>	<b>DISTÂNCIA (Km)</b>	<b>PONTO</b>	<b>DISTÂNCIA (Km)</b>
Nascente - IG1	21,817	Nascente Atuba - AT1	7,591
IG1 - IG2	7,151	AT1 - AT2	7,284
IG2 - IG3	16,064	AT2 - AT3	8,667
IG3 - IG4	20,286	AT3 - AT4	0,878
IG4 - IG5	13,802	AT4 - Rio Iguaçu	0,0703
IG5 - IG6	14,516	Nascente Belém - BL1	1,877
IG6 - IG7	35,831	BL1 - BL2	8,480
IG7 - IG8	100,871	BL2 - BL3	8,069
IG8 - IG9	154,091	BL3 - Rio Iguaçu	0,716
Nascente Palmital - PA1	8,484	Nascente Barigui - BA1	1,279
PA1 - PA2	7,860	BA1 - BA2	4,318
PA2 - PA3	5,340	BA2 - BA3	26,520
PA3 - Rio Iguaçu	1,057	BA3 - Rio Iguaçu	2,988

### 3.2 PONTOS DE MONITORAMENTO

Foram selecionados 23 pontos de monitoramento localizados na bacia do Alto Iguaçu, sendo apenas um ponto (IG 9) na bacia do Médio Iguaçu, como mostra o

mapa

da

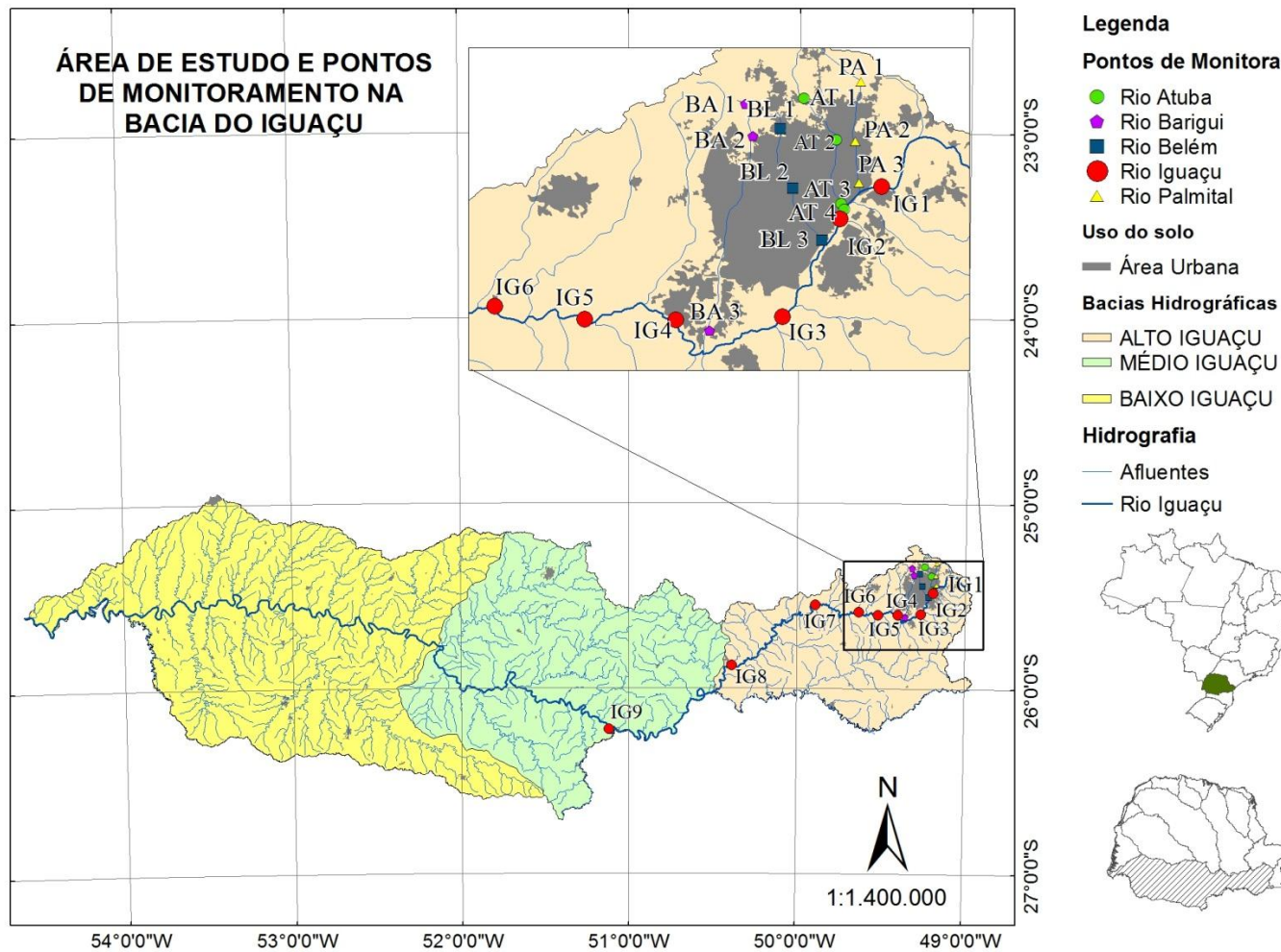
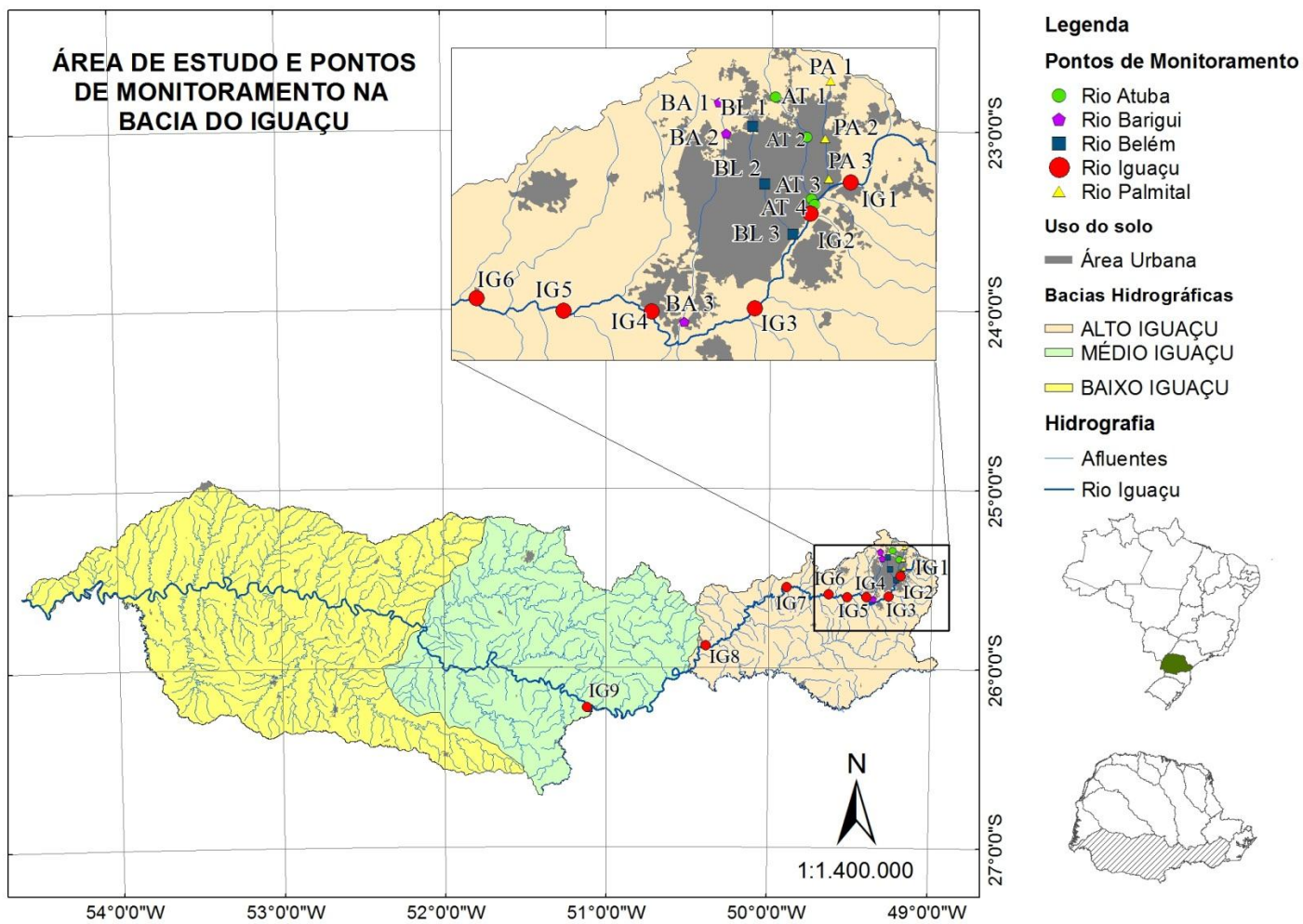


FIGURA 14. Apesar dos pontos avaliados drenarem regiões com características distintas de uso e ocupação de solo e, portanto com aportes característicos de poluentes, observa-se uma concentração em áreas altamente urbanizadas que conseqüentemente recebem o aporte da poluição urbana. Informações gerais sobre cada uma das estações são mostradas no QUADRO 3.

Para o ponto IG2 foram feitas coletas na margem direita, logo na confluência do rio Iguazu com a entrada do rio Atuba e na margem esquerda, poucos metros após a confluência.



**FIGURA 14- MAPA DOS PONTOS DE MONITORAMENTO**

**QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PONTOS DE MONITORAMENTO**

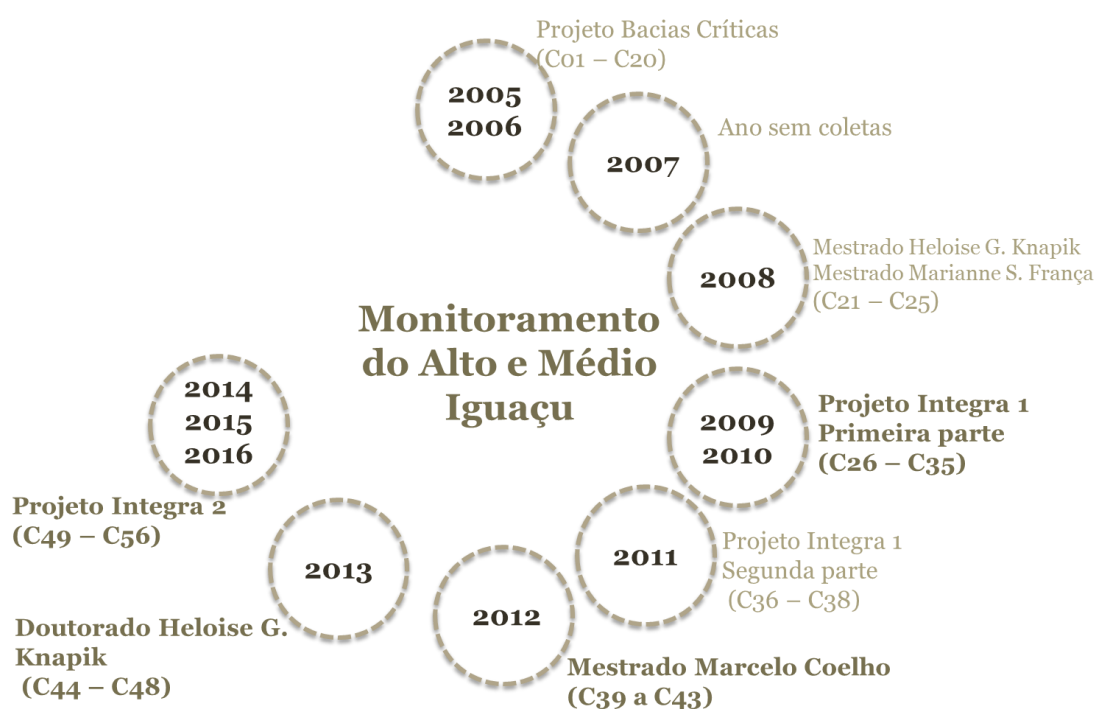
PONTO	RIO	MUNICÍPIO	ÁREA DE DRENAGEM (KM²)	COORDENADAS		CÓDIGO ANA
				LATITUDE S	LONGITUDE O	
AT 1	Atuba	Colombo	#	25°20'30,99"	49°14'14,69"	-
AT 2		Pinhais	#	25°23'25,00"	49°11'36,60"	-
AT 3		Curitiba	#	25°27'53,73"	49°11'25,56"	-
AT 4		Curitiba	126,0	25°28'55"	49°11'22"	65008000
BL 1	Belém	Curitiba	3,7	25°22'44"	49°16'00"	65011000
BL 2		Curitiba	43,0	25°26'51,93"	49°15'4,10"	65011400
BL 3		Curitiba	86,0	25°30'26,58"	49°12'54,22"	65012000
PA 1	Palmital	Colombo	27,2	25°19'21,67"	49° 9'45,78"	65006040
PA 2		Colombo	71,7	25°23'35,06"	49°10'26,18"	65006047
PA 3		Pinhais	89,2	25°26'28,84"	49°10'6,43"	65006055
BA 1	Barigui	Curitiba	60,8	25°18'45"	49°17'43"	65019600
BA 2		Curitiba	107,0	25°23'18"	49°18'17"	65019640
BA 3		Araucária	262,0	25°36'49"	49°21'24"	65019700
IG 1	Iraí	Piraquara	282,9	25°26'36"	49°08'26"	-
IG 2D/E	Iguaçu	São José dos Pinhais	625,5	25°29'02"	49°11'23"	65009000
IG 3		São José dos Pinhais	1.283,7	25°35'55"	49°15'33"	65017006
IG 4		Araucária	2.122,2	25°35'56"	49°15'39"	65019980
IG 5		Araucária	2.577,8	25°36'01"	49°23'52"	65025000
IG 6		Balsa Nova	3.048,7	25°36'01"	49°30'48"	65028000
IG 7		Porto Amazonas	3.662,0	25°35'14"	49°37'54"	65035000
IG 8		São Mateus do Sul	6.050,0	25°52'32,88"	49°23'22,92"	65060000
IG 9	União da Vitória	24.500,0	25°13'32,88"	49°7'35,76"	65310000	

FONTE: FERNANDES, AZEVEDO, PORTO *et al.*, 2014.

### 3.3 ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

#### 3.3.1 Compilação e integração dos dados

Os dados de qualidade da água e sedimentos dos pontos monitorados no Alto e Médio Iguaçu foram selecionados dentre 56 campanhas que foram realizadas durante um intervalo de 10 anos de monitoramento. Esse período abrange as seguintes pesquisas: Projetos Integra 1 e 2 , Bacias Críticas e demais projetos de mestrado e doutorado do PPGERHA – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (FIGURA 15).



**FIGURA 15 - HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO DE DADOS DA BACIA DO ALTO E MÉDIO IGUAÇU**

As campanhas iniciaram em 2005 com as estações de monitoramento do IG1 a IG6, sendo que apenas em 2009 passou a ser amostrada a margem direita e esquerda do ponto IG2, assim os pontos dessa estação passaram a ser IG2E, margem esquerda e, IG2D margem direita. Em 2012 foi incorporado o IG7 e, em 2013 os pontos IG8 e IG9 (primeiro ponto monitorado na bacia do Médio Iguaçu), completando assim o monitoramento em todos os trechos do rio Iguaçu localizados na bacia do Alto Iguaçu. Para os rios afluentes foram selecionados os rios Palmital,

Atuba, Barigui e Belém, onde, primeiramente, foi inserida uma seção amostral por rio. Os pontos nos afluentes foram monitorados entre as campanhas C39 à C42 e de C49 a C56. Ao longo das campanhas, mais pontos de monitoramento foram adicionados, completando uma rede com 23 pontos. Além disso, a variação do número de parâmetros analisados em cada ponto de monitoramento pode também ser resultado de limitações nas amostragens. A TABELA 4 e TABELA 5 mostram o número de campanhas analisadas por ponto, para amostras de água como de sedimento respectivamente. Cabe ressaltar que foram selecionadas todas as campanhas que tiveram coletas concomitante para água e sedimento. Por isso, apesar de já terem sido realizadas 56 campanhas, o número máximo de registro por ponto não ultrapassa a quantidade de 25 campanhas que tiveram sedimento coletado.

**TABELA 4 - FREQUÊNCIA DE CAMPANHAS POR PONTO DE MONITORAMENTO PARA AMOSTRAS DE ÁGUA**

PONTO	ESTAÇÕES DO ANO				NÚMERO TOTAL DE CAMPANHAS POR PONTO
	INVERNO	OUTONO	PRIMAVERA	VERÃO	
IG1	5	5	11	4	25
IG2D	5	5	11	4	25
IG2E	4	5	9	2	20
IG3	5	5	11	4	25
IG4	5	5	9	4	23
IG5	5	5	11	4	25
IG6	5	4	11	4	24
IG7	0	2	5	2	9
IG8	0	2	1	2	5
IG9	0	2	1	2	5
AT1	0	2	1	2	5
AT2	0	2	1	2	5

PONTO	ESTAÇÕES DO ANO				conclusão
	INVERNO	OUTONO	PRIMAVERA	VERÃO	NÚMERO
					TOTAL DE CAMPANHAS POR PONTO
AT3	0	2	1	2	5
AT4	1	2	5	2	10
BA1	0	2	1	2	5
BA2	0	2	1	2	5
BA3	1	2	5	2	10
BL1	0	2	1	2	5
BL2	0	2	1	2	5
BL3	1	2	5	2	10
PA1	0	2	1	2	5
PA2	0	2	1	2	5
PA3	1	2	5	2	10

Apesar das campanhas de sedimento serem coincidentes com as coletas de água, o leito de fundo não foi coletado em todas. Encontram-se disponíveis na base de dados resultados de 25 campanhas que tiveram coleta e análise de sedimento. A TABELA 5 mostra o número de campanhas registradas para sedimento em cada ponto amostral.

**TABELA 5 - FREQUENCIA DE CAMPANHAS POR PONTO DE MONITORAMENTO PARA AMOSTRAS DE SEDIMENTO**

PONTO	ESTAÇÕES DO ANO				NÚMERO
	INVERNO	OUTONO	PRIMAVERA	VERÃO	TOTAL DE
					CAMPANHAS POR PONTO
IG1	5	5	11	3	24
IG2D	5	5	11	4	25
IG2E	4	5	8	1	18

PONTO	ESTAÇÕES DO ANO				conclusão
	INVERNO	OUTONO	PRIMAVERA	VERÃO	NÚMERO
					TOTAL DE CAMPANHAS POR PONTO
IG3	5	5	10	3	23
IG4	5	5	9	4	23
IG5	5	5	11	4	25
IG6	5	4	9	3	21
IG7	0	2	1	3	6
IG8	0	2	1	2	5
IG9	0	1	1	1	3
AT1	0	2	1	2	5
AT2	0	2	1	2	5
AT3	0	1	1	1	3
AT4	0	1	0	0	1
BA1	0	2	0	2	4
BA2	0	2	1	2	5
BA3	1	2	5	2	10
BL1	0	2	0	2	4
BL2	0	1	0	0	1
BL3	0	2	4	1	7
PA1	0	2	1	2	5
PA2	0	1	0	1	2
PA3	1	2	4	2	9

O processo analítico e laboratorial demanda tempo e é oneroso por demandar recursos financeiros, físicos e pessoal para o processamento das análises. Por essas razões é importante que as análises físico-químicas sejam padronizadas e, que os dados não sejam perdidos durante as mudanças de projetos ou por alterações dos membros envolvidos. Sendo assim, a etapa de compilação dos dados de sedimento buscou agrupar e armazenar em planilhas no *Excel* todos os

dados disponíveis para sedimento, assim como já é realizado para as amostras de água. Para o agrupamento dos dados de sedimento em um banco unificado foram realizadas padronizações nos formatos de apresentação dos dados utilizados por cada analisador. Outra etapa importante dessa fase de compilação dos dados foi a verificação dos resultados em termos das curvas analíticas de calibração para cada um dos parâmetros.

### 3.3.2 Apresentação dos resultados

A escolha da apresentação dos dados de qualidade de água e sedimentos foi feita de acordo com a alta variabilidade observada nos dados em alguns pontos monitorados (VIEIRA, 2008). Para mostrar a dispersão dos dados, utilizou-se o diagrama de caixa (*box plot*) produzidos através do *software* STATISTICA® (DELL, 2016). O *box plot* foi configurado para apresentar os seguintes dados: valores outliers; valores mínimos e máximos não outliers; primeiro quartil; segundo quartil (mediana) e o terceiro quartil, e como medida de tendência central foi escolhida a mediana. A mediana é a medida de tendência central que melhor apresenta dados discrepantes (VIEIRA, 2008).

## 3.4 ANÁLISE DE SEDIMENTO

Neste trabalho foram realizadas as análises físico-químicas nos sedimentos para quatro campanhas de monitoramento. O fluxograma da FIGURA 16 apresenta os passos adotados desde a coleta até o processamento das amostras. Cada uma dessas etapas é mais detalhada nos itens dessa seção.

## Fluxograma para análise de sedimentos

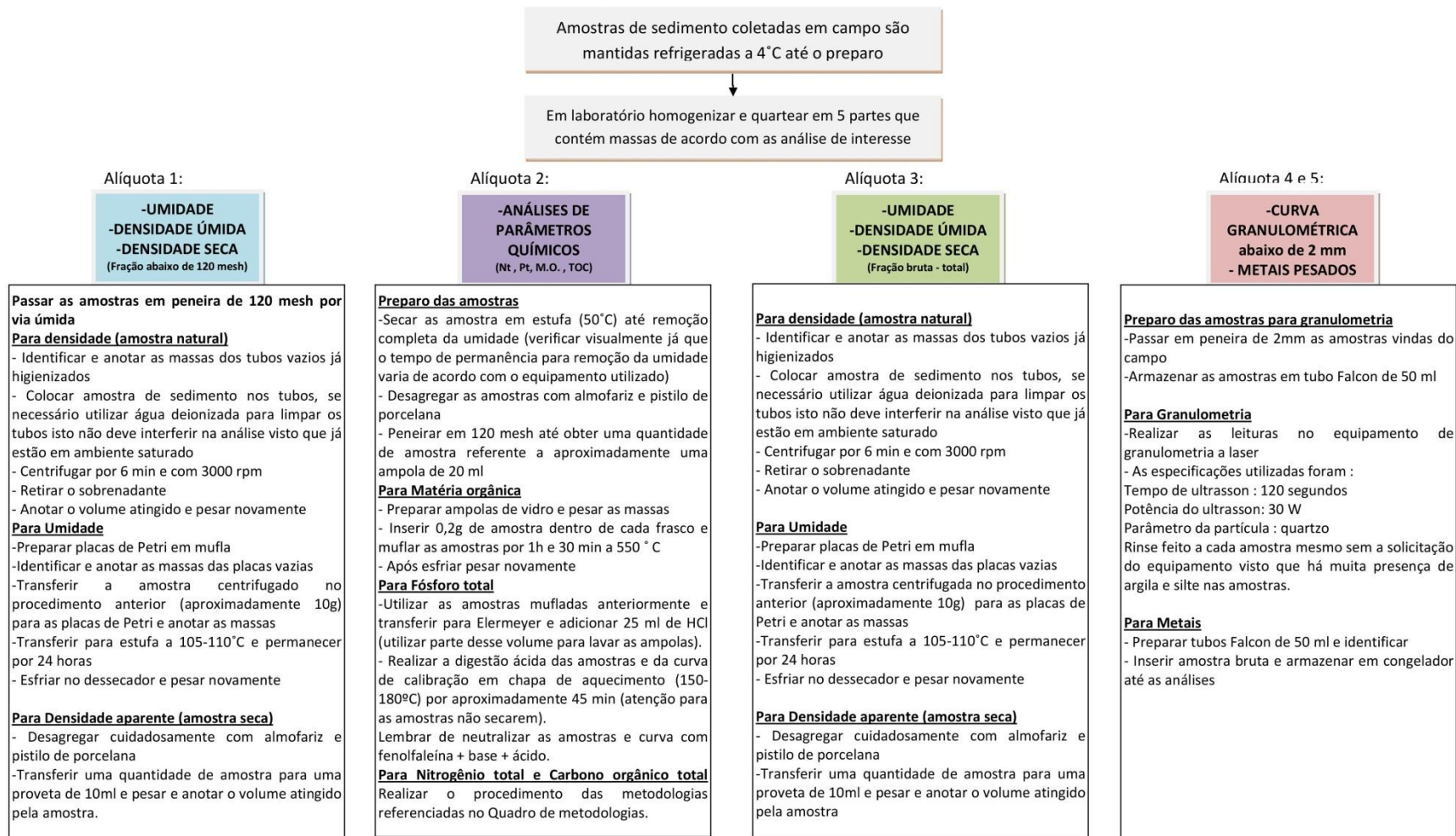


FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DE ANÁLISE DE SEDIMENTO

#### 3.4.1 Coleta das amostras

Foram realizadas análises físico química para amostras de sedimentos coletadas nos dias 01/06/2015, 30/11/2015, 14/03/2016 e 06/06/2016 referentes respectivamente às campanhas denominadas C53, C54, C55 e C56. A coleta das amostras de leito de fundo foi realizada com draga tipo Petersen, retirando aproximadamente os primeiros 15 cm da coluna de depósito de sedimento, portanto, avalia principalmente a distribuição horizontal e superficial dos parâmetros (CETESB, 2011). Para cada ponto de monitoramento foram retiradas amostras simples. Após a coleta as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e mantidas em caixas térmicas refrigeradas a 4°C até o início das análises.

As amostras foram quarteadas em laboratório a fim de garantir a homogeneidade das alíquotas selecionadas para cada parâmetro. Esse procedimento foi realizado manualmente para amostras heterogêneas e compostas por grânulos acima da fração de silte. Para as amostras compostas majoritariamente por partículas finas (silte e argila) foi realizada uma homogeneização, nos sacos de coleta, garantindo que não seria necessário o quarteamento manual.

#### 3.4.2 Preparo das amostras

Para as análises de COT, MO, NT e FT as amostras foram secas em estufa a 50°C, desagregadas em almofariz de porcelana até desagregar as partículas. Apesar da controvérsia sobre a normalização das frações dos sedimentos pelo método da peneira (CARERE, DULIO & POLESELLO, 2012), neste trabalho foi utilizada peneira de 0,125 mm (120 mesh). A escolha dessa malha se deu para ser possível a comparação com os resultados já disponíveis na base de dados e por abranger também as frações de silte e argila, que são indicadas para a análise de compostos químicos no sedimento (EC, 2010).

#### 3.4.3 Análises físico químicas

Todas as análises químicas foram realizadas em triplicata no LABEAM – Laboratório de Engenharia Ambiental prof. Borsari Neto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR. Os métodos utilizados para a obtenção dos dados de qualidade da água estão descritos no QUADRO 4.

**QUADRO 4 - MÉTODOS E PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA**

VARIÁVEL	SÍMBOLO	MÉTODO	REFERÊNCIA	FAIXA DE DETECÇÃO
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	OXITOP®	WTW	> 2,0 mg O <sub>2</sub> /L
Nitrogênio total	NT	Digestão com persulfato de potássio	4500-N C Standard methods (APHA, 1998)	<b>conclusão</b> < 2,9 mg N/L
Carbono orgânico	COT, COP, COD	Combustão a alta temperatura, método de detecção infravermelho não dispersivo	COT-VCPH Shimadzu Corporation, 2003	TC<25000, IC<30000 (mg/L) Limite: TC:4, IC:4 (µg/L)
Fósforo total	FT	Digestão alcalina/ácido ascórbico	4500-P E Standard methods (APHA, 1998)	5 – 1500 µg P/L
Potencial hidrogeniônico	pH	Sonda Multiparamétrica	Horiba u-50	-
Temperatura	T	Sonda Multiparamétrica	Horiba u-50	-

**FONTE:** Adaptado de: FERNANDES, AZEVEDO, PORTO *et al.*, 2014.

O QUADRO 5 apresenta o resumo dos parâmetros analisados e os métodos utilizados nas amostras de sedimento. Cabe destacar que foram feitas algumas adaptações metodológicas para as campanhas 54, 55 e 56 em relação às campanhas anteriores, os métodos adaptados estão indicados no QUADRO 5. O Material Suplementar Item 7.1 mostra um fluxograma simplificado das metodologias adotadas para as análises no sedimento. Apenas para os parâmetros físicos de densidade e umidade foram realizadas amostras tanto na fração abaixo de 120 mesh como para a fração total (bruta).

**QUADRO 5 - MÉTODOS E PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO SEDIMENTO**

VARIÁVEL	MÉTODO	REFERÊNCIA
Carbono Orgânico Total (COT)	Método da combustão em alta temperatura e detecção por infravermelho não dispersivo (NDIR)	Analizador de carbono orgânico COT-Vcph – SHIMADZU <b>conclusão</b>
Matéria Orgânica (M.O)	Método gravimétrico	(DAVIES, 1974)
Fósforo Total (Ft)	Método da ignição e dissolução com HCl	(ANDERSEN, 1976)
Nitrogênio Total (Nt)	Método da digestão por persulfato de potássio	(SMART, RADA & DONNERMEYER, 1983)
Umidade	Umidade gravimétrica	Adaptado de Embrapa (1997)
Densidade úmida	Métodos de centrifugação em tubo falcon	Adaptado de Embrapa (1997)
Curva granulométrica	Granulometria a laser	Granulômetro a laser S3500, utilizando o software MICROTRAC

### **Carbono Orgânico Total**

Cerca de 2,0 g de amostras são digeridas e, após a digestão completa e evaporação do ácido clorídrico (HCl) 1 mol.L<sup>-1</sup> foi adicionada uma etapa de “lavagem do sedimento” com 15 ml de água deionizada. Essa etapa serve para diminuir a acidez da amostra e preservar o equipamento do ambiente ácido a fim de evitar corrosões.

### **Matéria Orgânica**

Nas análises de MO foi padronizada uma massa inicial de aproximadamente 0,2 g. Essa massa foi escolhida para que após a calcinação em mufla a 550 °C para que as alíquotas pudessem ser utilizadas integralmente nas análises de FT.

### **Fósforo Total**

A digestão do fósforo total feita com HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> em chapa de aquecimento à temperatura de 180 °C. A digestão ácida altera o pH das amostras e da curva de

calibração a serem lidas, por isso faz-se necessária uma neutralização por orientações do método do ácido ascórbico (APHA, 1998). Após a digestão as amostras são centrifugadas e o sobrenadante transferidos para balões volumétricos. Nesta fase antes de avolumar, deve-se: adicionar algumas gotas de fenolftaleína, adicionar uma quantidade de solução básica de 1 mol de hidróxido de sódio (NaOH) até a amostra atingir a coloração rosa e finalmente inserir algumas gotas de HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> até a amostra retomar a transparência. A partir daqui o procedimento segue normalmente (APHA, 1998).

### **Nitrogênio Total**

As curvas de calibração devem ser submetidas aos mesmos procedimentos que as amostras (APHA, 1998), porém esse procedimento passou a ser realizado a partir da C54, tanto para FT como para NT. Outro passo adicional ao procedimento foi a quantificação de brancos as respectivas diluições das amostras, isso faz-se necessário porque a solução digestora interfere na análise. Uma possível fonte de erros analíticos e alterações dos resultados de NT na C52 foi a detecção da contaminação do reagente persulfato de potássio ( $K_2S_2O_8$ ) utilizado como agente digestor. Sendo assim, para evitar fontes de contaminação do reagente ele passou a ser armazenado em local separado dos demais reagentes do laboratório.

### **Granulometria**

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR-UFPR) e no Laboratório de Biogeografia e Solos (LABS – UFPR), através da técnica de difração a laser em granulômetro (Microtrac 3500). As seguintes configurações do equipamento foram definidas: tempo de ultrassom de 120 segundos na potência 35 W para as campanhas C53, C54 e C55. Para a campanha C56 o tempo de ultrassom foi de 60 segundos na potência 30 W. O equipamento de análise granulométrica possibilita analisar partículas com diâmetro menores que 2 mm, sendo dispensável para as amostras coletadas a análise integrada com peneiras.

Nas campanhas anteriores à C54 as amostras eram secas previamente em estufa a 50° C e desagregadas em almoforiz e pistilo. Porém, estudos indicam que a forma como as partículas são desagregadas podem interferir nos resultados finais

das granulometrias (FALHEIRO *et al.*, 2011). Para verificar se o método de preparação adotado interferia nos resultados granulométricos, foram realizados testes com amostras do ponto IG4 referente à campanha C53, este ponto foi selecionado devido sua homegenidade temporal (DOMBROSKI, FERNANDES & SIQUEIRA, 2012). Foram testadas três condições de dispersão das partículas após a secagem da amostra em estufa: 1) a amostra foi desagregada com água deionizada, homogeneizada e peneirada em malha de abertura de 2 mm; 2) amostra seca foi desagregada com almoforiz e pistilo de porcelana e peneirada em malha de abertura de 2 mm sendo inseridas no equipamento para leitura; 3) amostra desagregada em 30 ml de água deionizada, mantida em equipamento ultrassom durante 20 minutos para completa desaglutinação e peneirada em malha de abertura de 2 mm;

### **Umidade**

A umidade é distinta para os vários tipos de solo e também varia de acordo com a fração em que se está analisando (DE ALMEIDA, 2005). Isso porque a área superficial das partículas é peculiar. Partículas menores como as argilas, possuem maior área superficial do que partículas arenosas (DE ALMEIDA, 2005). Apesar do teor de umidade ser expresso em percentual, ele não é uma porcentagem, pois trata-se da relação entre a massa de água na amostra e a massa total de sedimento analisada. Portanto, se uma amostra de solo seco tiver água adicionada, o peso de água irá aumentar, porém o peso das partículas sólidas permanecerá constante. O que limita um valor mínimo de 0% de umidade, mas não há limite superior para a umidade (DE ALMEIDA, 2005).

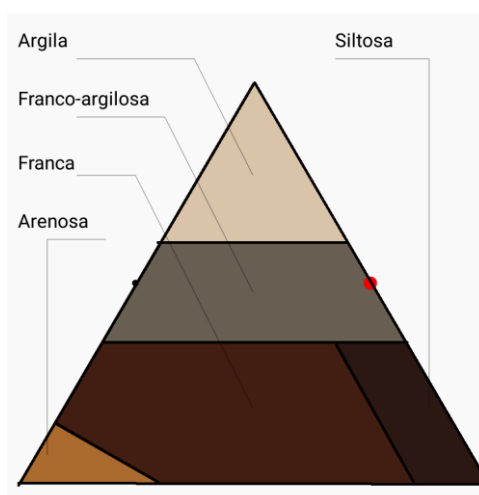
Esse parâmetro é determinado pelo método gravimétrico, sendo a diferença entre a amostra úmida e seca em estufa a 50 °C. Porém, como as amostras de sedimento podem ser consideradas amostras de solo saturadas, podemos adaptar a análise utilizada pela Embrapa (1997). Em solos saturados as amostras são submetidas a aparelhos de pressão para remoção da água em excesso. Neste trabalho de conclusão utilizou-se a centrifugação das amostras para a remoção da água excedente e intersticial, buscando simular de forma simplificada um aparelho extrator da água intersticial.

## Densidades

No solo e no sedimento podem ser encontradas partículas de naturezas e tamanhos diversos sendo indicado que se realize análise de densidade média das partículas que compõe a amostra. A fração mais fina dos solos costuma ter natureza diversa daquela de maior tamanho, já que é gerada mais por desintegração química (oxidação, hidratação, carbonatação) do que mecânica (ruptura e desgaste, causados por temperatura, atrito, etc.). Por isso é interessante realizar essas análises em um tamanho específico, apresentando o resultado com três casas decimais (DE ALMEIDA, 2005). Neste trabalho foram realizados testes obtendo as densidades aparente e úmida, tanto para amostras brutas (menores que 2 mm) como para amostras passantes pela peneira de 120 mesh.

## Classificação Textural do Sedimento

A classificação textural leva em conta as proporções relativas das frações de argila, silte ou areia no solo ou sedimento. Com os resultados para cada fração obtidos através da curvas granulométricas, os sedimentos das campanhas C53, C54, C55 e C56 foram classificados de acordo com o triângulo da EMBRAPA pelo aplicativo para celular “TRIÂNGULO TEXTURAL” (PAULINO & COSTA, 2012). O triângulo determina 5 classificações distintas para o sedimento (FIGURA 17).



**FIGURA 17 - TRIÂNGULO DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DA EMBRAPA –  
FONTE: PAULINO & COSTA, 2012**

## 3.5 UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SIG PARA APRESENTAÇÃO DOS DADOS

### 3.5.1 Shapes e base no SIG

Foram utilizados os seguintes shapes: shape de hidrografia da ANA com escala de 1:1.000.000 (ANA, 2016); “Unidades\_Hidrograficas\_Parana”, “Bacias\_Hidrograficas\_Parana” e “Comites\_Instalados” em escala de 1:50.000 (SUDERHSA, 2007) e 1:100.000; shape do uso do solo do ano de 2001/2002 (ITGC-PR, 2002) no sistema de Projeção UTM - Fuso 22 Sul. Os shapes foram cortados utilizando ferramentas de cruzamentos de dados do ArcGIS® (ESRI, 2011) para selecionar as áreas de interesse desse trabalho. Foram selecionadas as Bacias do Alto e Médio Iguaçu, onde estão localizados os pontos de monitoramento.

Os shapes específicos para cada parâmetro de qualidade do sedimento foram obtidos realizando a junção através da ferramenta “join” do ArcGIS® (ESRI, 2011) agrupando as planilhas com os dados monitorados e os trechos dos rios georreferenciados. Como as análises são realizadas para seções pontuais delimitou-se um trecho de influência por ponto. Os trechos a serem classificados foram determinados como sendo a metade do comprimento do trecho à montante e à jusante de cada ponto amostral.

### 3.5.2 Definição dos critérios de classificação e da divisão dos trechos

Foram estabelecidos critérios de classificação dos sedimentos por nível de qualidade para os seguintes parâmetros de qualidade: FT, NT, MO, granulometria e classificação textural. As propostas das faixas de classificação foram baseadas tanto nos critérios de delimitação das concentrações máximas da Resolução CONAMA n. 454/2012 (BRASIL, 2012) (TABELA 7) como na faixa de classificação da qualidade adotada para FT pela CETESB (FIGURA 18), apresentando os resultados através de cores indicativas do grau de poluição.

Cabe ressaltar que além dos níveis para classificação adotados pela CETESB e dos limites da CONAMA, existem faixas de classificação para nutrientes, metais e compostos orgânicos estabelecidos pelo Ontario Ministry of the Environment and Energy (FLETCHER; WELSH & FLETCHER, 2008). Segundo a

OMEE são estabelecidas duas faixas: nível de efeito baixo e nível de efeito severo como mostra a TABELA 6 .

**TABELA 6 - DETERMINAÇÃO DAS FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>NÍVEL DE EFEITO BAIXO</b>	<b>NÍVEL DE EFEITO SEVERO</b>
NITROGÊNIO KJELDAHL TOTAL (µg/g)	550	4.800
FÓSFORO TOTAL (µg/g)	600	2.000
COT (%)	1	10

Fonte: FLETCHER; WELSH & FLETCHER, 2008.

A CETESB analisa os parâmetros apresentados na TABELA 7, porém, apresenta uma classificação do possível grau de efeito sobre a biota apenas para o FT como mostra a FIGURA 18.

**TABELA 7 - DETERMINAÇÃO DOS VALORES MÁXIMOS PARA SEDIMENTO**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>CONCENTRAÇÃO ( µg/g ) ou (mg/Kg)</b>
NITROGÊNIO KJELDAHL TOTAL (mg/kg)	4.800
FÓSFORO TOTAL (mg/kg)	2.000
COT (%)	10

Fonte: Brasil, 2012.

Critério	ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM	PÉSSIMA
Substâncias Químicas <sup>(a)</sup>	Todos contaminantes em concentração inferior a TEL	O pior contaminante com concentração acima de TEL mas inferior 50% da distância entre TEL e PEL	O pior contaminante com concentração acima de TEL superior a 50% da distância entre TEL e PEL, mas inferior a PEL	O pior contaminante com valor entre PEL e até 1,5 PEL	O pior contaminante com valor superando 1,5 PEL
Comunidade Bentônica	ICB <sup>(b)</sup> = 1	ICB = 2	ICB = 3	ICB = 4	ICB = 5
Ecotoxicidade ( <i>Hyalella azteca</i> )	Não Tóxico		Efeito subletal, redução no crescimento	Efeito agudo, mortalidade <50%	Efeito agudo, mortalidade ≥50%
Mutagenicidade (Teste de Ames)	Não detectado	< 50 rev/g	>50 até 500 rev/g	>500 até 5.000 rev/g	>5.000 rev/g
Toxicidade Aguda ( <i>Vibrio fischeri</i> )	Não tóxica		Moderadamente tóxica	Tóxica	Muito tóxica
	CE <sub>20</sub> > 81,9%		50% < CE <sub>20</sub> ≤ 81,9%	25 < CE <sub>20</sub> ≤ 50%	CE <sub>20</sub> ≤ 25%
Frequência de deformidade no mento ( <i>Chironomus</i> )	≤ 2 %		2,1 a 6 %	< 6 %	
Fósforo (mg/kg)		< 750		>750 até 1.500	>1.500

**FIGURA 18 - FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO ESTABELECIDAS PELA CETESB .  
FONTE: CETESB, 2016**

Neste trabalho foi estabelecida uma nova metodologia para classificar os parâmetros da TABELA 7. Como dos parâmetros utilizados neste trabalho, a CETESB só estabelece faixas para FT, esse foi utilizado como balizador para classificar os demais parâmetros. Sendo assim, o primeiro passo da nova classificação aqui proposta foi o de estabelecer novos valores máximos. Para isso foi calculada a diferença entre o máximo valor da CONAMA (2.000 ug/g) e o máximo valor da CETESB (1.500 ug/g) para FT. Esse valor foi dividido pela concentração de 2.000 ug/g para gerar um “fator de segurança” (no caso, para FT o valor foi de 1500, 25% a menos do limite da CONAMA). Para NT foi então diminuído, da concentração máxima da CONAMA, esse mesmo fator de segurança de 25%. Sendo assim, todas as medições acima do novo limite são classificadas como péssima (FIGURA 19). Para estabelecer duas novas faixas de classificação (boa e ruim), o valor máximo foi dividido em duas partes iguais.

PARÂMETRO	ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM	PÉSSIMA
Fósforo Total (µg/g)	-	0 – 750	-	750 – 1.500	> 1.500
Nitrogênio Total (µg/g)	-	0 – 1.800	-	1.800– 3.600	> 3.600
MO (%)	-	0 – 6,4	-	6,4 – 12,9	> 12,9

**FIGURA 19 - FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO PROPOSTAS NESTE TRABALHO.**

A CONAMA não impõe limites para valores de MO, porém, deixa a critério do órgão licenciador a conversão do COT para MO. A conversão entre MO e C total pode ser obtida através de fatores de conversão. Comumente utiliza-se o valor de 1,724 (fator de Van Bemmelen), porém Pribyl (2010) propõe a utilização do fator de conversão sendo 2. Sendo assim, fez-se necessária a conversão do limite máximo de COT determinado pela CONAMA, para um limite máximo de MO. Neste trabalho esse valor limite foi estabelecido utilizando o fator de *Van Bemmelen* (EQUAÇÃO 1). Portanto, a transformação de 10% (valor limite para COT) passou para um limite de 17,25% de MO. Similarmente como feito para FT e descrito acima, foi descontado o fator de segurança de 25% sobre o valor limite, chegando a um resultado de 12,9% para o limite para MO. As demais faixas foram obtidas da mesma forma que para FT e NT.

$$MO (\%) = C (\%) \times 1,725 \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

Mapas de classificação foram produzidos com base nas faixas estabelecidas para os três parâmetros químicos. Valores médios de cada parâmetro foram então comparados de forma bi-anual; entre estações do ano; entre valores máximos, mínimos e médios. Cabe ressaltar que para a criação dos mapas do ponto IG2, as classificações foram obtidas a partir das médias para a margem direita e a esquerda.

Com base na classificação proposta foram delimitados trechos de influência de cada ponto de monitoramento. Visto que as amostras foram coletadas em seções

amostrais pontuais e que portanto, os dados eram referentes a esses pontos, os trechos referentes a cada seção foram calculados como sendo metade do trecho à montante adicionado à metade do trecho à jusante de cada ponto amostral.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIABILIDADE FÍSICA DOS SEDIMENTOS

Uma forma adicional, além da avaliação visual, para verificar a homogeneidade temporal das granulometrias é através da comparação entre campanhas com o auxílio de análises estatísticas. Neste sentido, foram selecionados os percentuais passantes no diâmetro de 0,063 mm para cada campanha e em cada um dos pontos amostrais. Assim, em cada ponto de monitoramento, esses percentuais foram comparados através do desvio padrão amostral, dos coeficientes de variação e dos resultados do teste de hipótese qui-quadrado ( $p$ ). Cabe ressaltar que a fração escolhida de 0,063 mm se deu já que é indicado que os parâmetros químicos no sedimento sejam avaliados nessa faixa. A identificação de pontos amostrais homogêneos e heterogêneos temporalmente foi determinada através dos valores de  $p$ . As seções que obtiveram valores de  $p$  acima de 0,05 foram consideradas homogêneas temporalmente. Do contrário o teste de hipótese indicou que houve mudança na dinâmica temporal das características físicas dessas amostras.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CURVAS GRANULOMETRICAS E ANÁLISE TEXTURAL

Os resultados das granulometrias fornecem base para: gerar as curvas granulométricas; realizar a separação dos percentuais de fração de areia, silte e argila (Material Suplementar Item 7.4) e fornecem os percentuais utilizados nas classificações texturais. As curvas granulométricas mostram visualmente o perfil de distribuição dos grãos de acordo com o percentual de partículas passantes em cada faixa de diâmetro (FIGURA 3). Curvas deslocadas para a esquerda, com a concavidade voltada para baixo tendem a representar amostras siltosas ou argilosas, em contrapartida as curvas deslocadas para a direita com a concavidade voltada para cima são características de amostras arenosas. As curvas granulométricas para o rio Iguaçu e seus afluentes estão apresentadas nas FIGURAS de 20 a 24.

As variabilidades existentes entre as curvas granulométricas podem ser observadas visualmente, quando há homogeneidade temporal das amostras as curvas granulométricas se sobrepõem. O teste de hipótese qui-quadrado obtido através do programa Estatística foi, dentre os três testados, aquele que forneceu os resultados mais coerentes às observações visuais das curvas granulométricas. Os resultados para  $p$  estão apresentados no QUADRO 6.

Com base nas classificações texturais dos sedimentos foram gerados mapas. Os resultados obtidos foram agrupados para as campanhas C53, C54, C55 e C56 e estão apresentados nas figuras: FIGURA 25, FIGURA 26, FIGURA 27 e FIGURA 28 respectivamente. Os sedimentos classificados como franco possuem proporções próximas de areia, silte e argila. Como o ponto IG2 possui análise na margem direita e esquerda a classificação textural foi diferenciada: por haver divergência na classificação das duas margens ela foi classificada como franco-arenosa nas campanhas 54 e 56. O QUADRO 6 apresenta os resultados da classificação textural.

**QUADRO 6 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL OBTIDA ATRAVÉS DO TRIÂNGULO DA EMBRAPA NAS CAMPANHAS C53,C54,C55 E C56 PARA CADA PONTO MONITORADO**

<b>PONTO</b>	<b>C53</b>	<b>C54</b>	<b>C55</b>	<b>C56</b>	<b>TESTE QUI-QUADRADO (p)</b>
<b>IG1</b>	franca	siltosa	franca	siltosa	<0,05
<b>IG2E</b>	arenosa	franca	arenosa	franca	<0,05
<b>IG2D</b>	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	>0,05
<b>IG3</b>	arenosa	*	franca	franca	<0,05
<b>IG4</b>	siltosa	franca	franca	franca	>0,05
<b>IG5</b>	franca	franca	franca	franca	<0,05
<b>IG6</b>	franca	franca	franca	franca	>0,05
<b>IG7</b>	franca	arenosa	franca	siltosa	<0,05
<b>IG8</b>	franca	franca	franca	franca	>0,05
<b>IG9</b>	*	franca	franca	franca	<0,05
<b>AT1</b>	arenosa	arenosa	arenosa	franca	>0,05
<b>AT2</b>	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	>0,05
<b>AT3</b>	arenosa	franca	arenosa	arenosa	<0,05
<b>AT4</b>	*	*	*	franca	**
<b>BL1</b>	arenosa	*	arenosa	arenosa	>0,05
<b>BL2</b>	*	*	*	arenosa	**
<b>BL3</b>	franca	*	franca	arenosa	<0,05
<b>BA1</b>	arenosa	*	arenosa	siltosa	<0,05
<b>BA2</b>	franca	arenosa	arenosa	arenosa	<0,05
<b>BA3</b>	franca	franca	franca	franca	>0,05
<b>PA1</b>	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	<0,05
<b>PA2</b>	*	*	*	arenosa	**
<b>PA3</b>	franca	*	franca	franca	<0,05

\*Sem dado para esse ponto, amostra não foi coletada.

\*\* Não é possível aplicar o teste qui-quadrado para amostras com menos de 2 dados

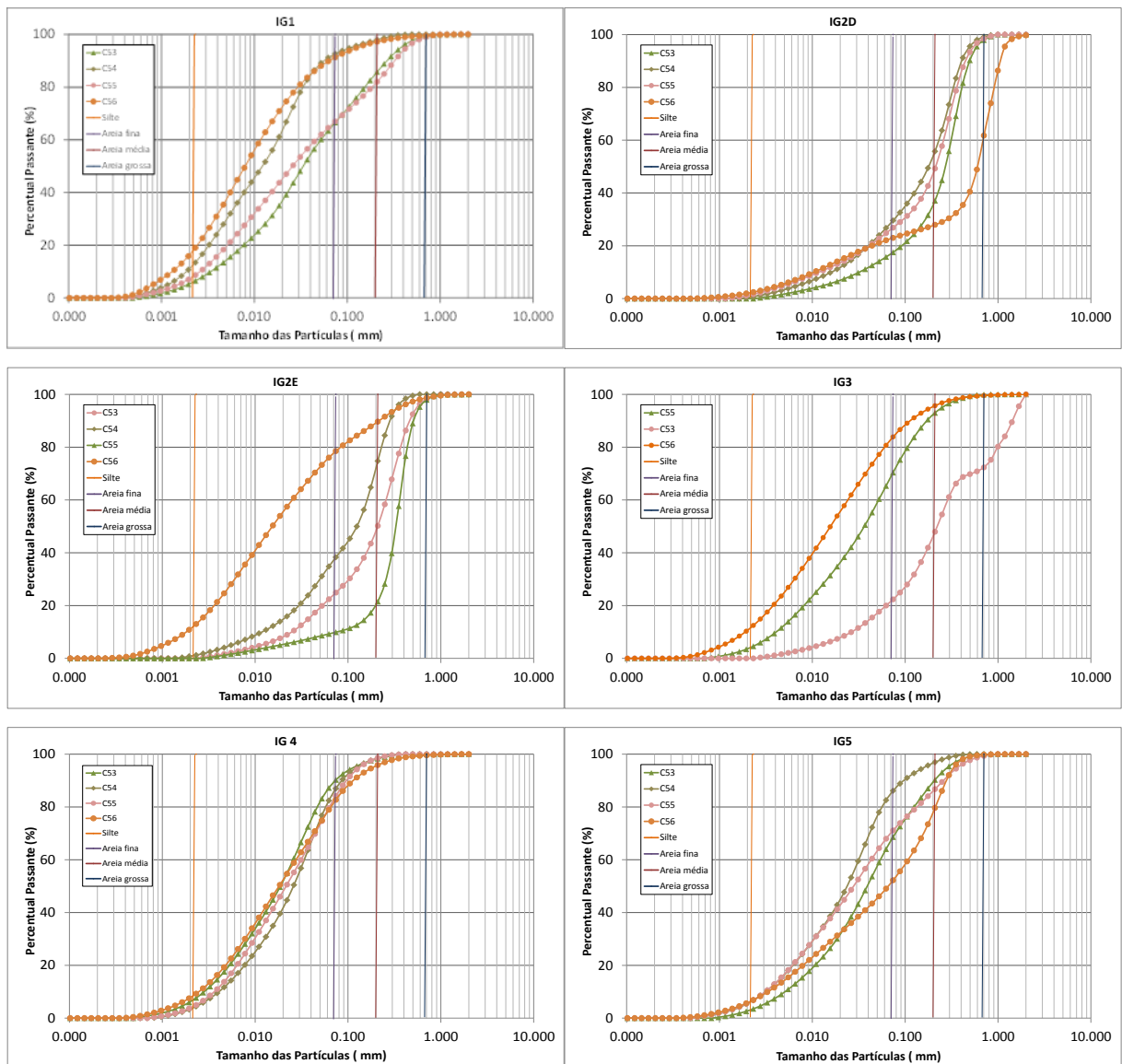
A discussão dos resultados das granulometrias foi dividida em três sub-itens apresentados a seguir. Primeiramente são apresentados e discutidos os resultados das granulometrias para o rio principal (seção 4.1.1), segundo para os afluentes (seção 4.1.2) e por fim é realizada a comparação geral de todos os trechos através dos mapas de classificação textural (seção 4.1.3).

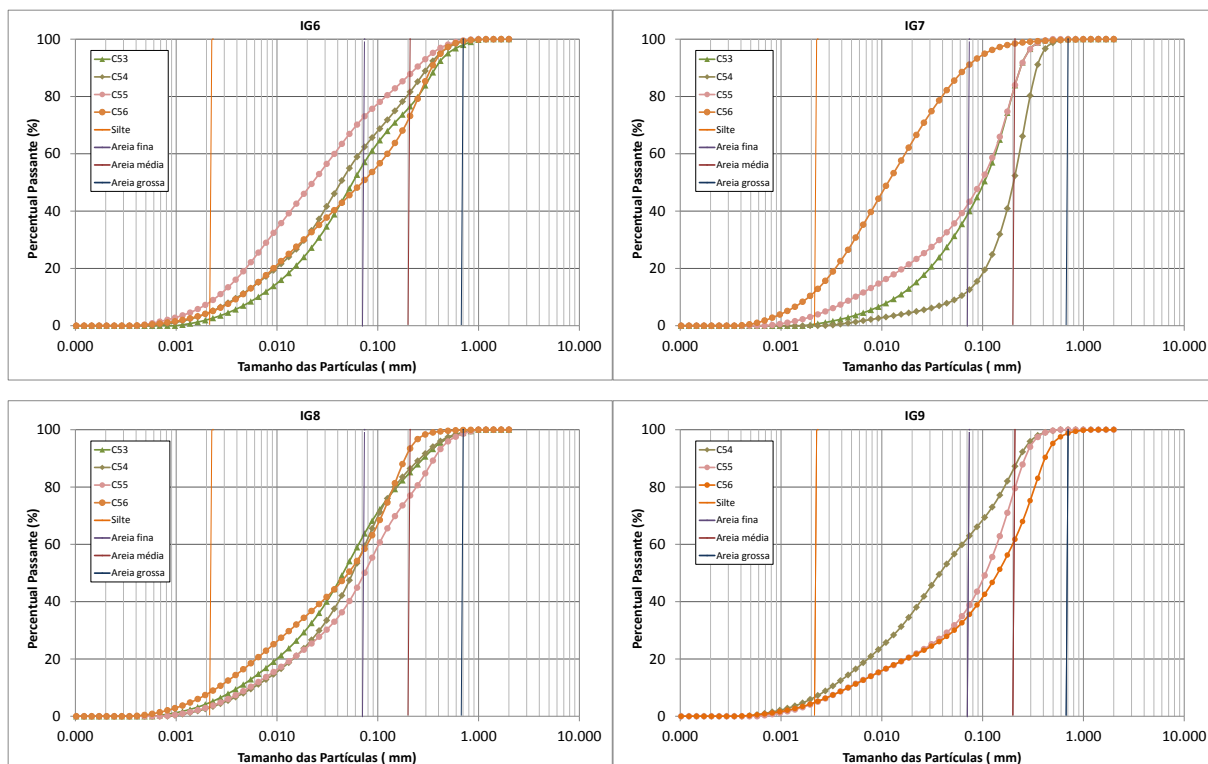
#### 4.1.1 Rio Iguaçu – Principal

Os resultados das curvas granulométricas (FIGURA 20) mostram que no Rio Iguaçu há uma tendência de encontrar sedimentos com partículas mais finas. Exceto para o ponto IG2D, para o qual as partículas são classificadas como arenosas. Além de parecer existir um padrão de distribuição espacial das granulometrias entre os pontos de monitoramento, há uma tendência de distribuição temporal para alguns pontos. O resultado do teste qui-quadrado indicou que não houve diferença entre as campanhas dos pontos IG2D, IG4, IG6 e IG8, ou seja, para esses pontos o percentual obtido na fração selecionada foi próximo entre as 4 campanhas. Em contrapartida, a análise visual das curvas granulométricas indica que há sobreposição das curvas para os seguintes pontos: IG4, IG5, IG6, IG8 e IG9, todos predominantemente constituídos por partículas finas. Essa diferença obtida entre os pontos considerados homogêneos pelo teste estatístico e o visual pode ser explicado pela escolha da fração no qual o teste foi aplicado ( $< 0,063$  mm). Apesar disso os resultados foram coerentes. Uma forma de corrigir isso seria possivelmente aplicar o teste para demais faixas de tamanho de grãos.

Dombroski, Fernandes & Siqueira (2012), ao realizarem amostragens nos mesmos pontos do rio Iguaçu, haviam constatado que os pontos IG4, IG5 e IG6 apresentavam composição majoritária de grãos finos e que seguiam uma tendência similar entre as granulometrias para campanhas realizadas em diferentes épocas. Ainda, sugere que as características físicas dos sedimentos para esses três pontos podem estar associadas à áreas de várzea, com aporte natural desse tipo de grãos, ou ao transporte proveniente de trechos a montante dessas seções (DOMBROSKI, FERNANDES & SIQUEIRA, 2012). Estudos sobre as características das seções transversais em termos das vazões, velocidades de escoamento, características da ocupação das margens e do próprio formato e largura das seções, podem ser uma fonte de explicação para os resultados encontrados (FILHO, 1996 ).

rio Iguaçu quase todas as seções estudadas possuem largura superior a 20 m. Os pontos IG8 e IG9 são essas exceções, com seções transversais de 80 m e 275 m respectivamente. Sabe-se que tanto a profundidade como a largura das seções podem influenciar nas velocidades de escoamento e no tipo de partículas carregadas (MARTINS & FROEHNER, 2008). Além disso, os pontos IG8 e IG9 encontram-se em regiões com menor influência antrópica, quando comparados aos pontos à montante. A influência antrópica pode acarretar em aporte de materiais sólidos tanto provenientes de fontes difusas como, e, principalmente de fontes pontuais. Portanto, pode-se deduzir que a fonte dos sedimentos são distintas para as seções à montante da bacia e à jusante.





**FIGURA 20 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO RIO IGUAÇU. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.**

Outros fatores importantes na avaliação do comportamento das curvas granulométricas são: a localização dos pontos amostrais e nível do rio no momento da coleta. As amostras de alguns pontos são coletadas sobre ou debaixo de pontes, o que pode interferir no sedimento, essa situação é verificada por exemplo para os pontos IG1 e IG5. A interferência nas amostras de sedimento podem ser observadas pela presença de partículas de areia e concreto que podem ser oriundas do asfalto das pontes. O nível das seções no momento da coleta também interferem na amostra que é coletada entre as campanhas de monitoramento, por exemplo para os pontos IG2E, IG3, IG4 IG6, IG7, IG8 e IG9 . Quanto mais elevado o nível do rio maior a dificuldade em lançar a draga no centro da seção, o que faz com que as amostras sejam uma mistura de sedimento e solo da margem. Portanto a análise acerca das variabilidades das curvas granulométricas deve ser realizada considerando os interferentes citados anteriormente. Nesse sentido, uma ficha de

campo para registro das condições no momento da coleta são importantes dados para a análise e interpretação dos resultados.

#### 4.1.2 Afluentes – Rio Palmital, Rio Atuba, Rio Barigui e Rio Belém

As curvas granulométricas para os rios afluentes indicam que em todos eles a composição dos sedimentos é em grande parte arenosa. As curvas estão agrupadas por rio afluente, na seguinte ordem: Palmital (FIGURA 21), rio Atuba (FIGURA 22), rio Belém (FIGURA 23) e rio Barigui (FIGURA 24). Apesar disso, um padrão semelhante ao que foi observado para o rio Iguaçu ocorre nos afluentes. Os pontos localizados à jusante como o PA3, AT4, BL3 e BA3 são classificados texturalmente para as quatro campanhas como sedimento arenoso e franco (QUADRO 6). Características físicas do rio, como profundidade, intensidade e velocidade das correntes contribuem para a composição granulométrica do sedimento (MARTINS & FROEHNER, 2008), encontrando sedimentos arenosos para as seções com baixa profundidade e seção estreita (FILHO, 1996).

Os afluentes se assemelham devido às pequenas regiões de matas ciliares e à ocorrência de ocupação urbana das planícies de inundação. Sendo assim, todos eles são afetados pela poluição pontual proveniente de esgotos domésticos, bem como pelo aporte difuso devido à entrada de resíduos e partículas sólidas erodidas das margens (ANDREOLI *et al.*, 1999; NUNES, RIBEIRO & FIORI, 2006; FORTUNATO, 2006; HEINRICH, 2011; ROSA, FARIA & ROMANO, 2014). O rio Palmital é caracterizado pela ocupação urbana principalmente da margem direita, apresentando porções de matas ciliares concentradas na margem esquerda (ROSA, *et al.*, 2014). A bacia do rio Atuba é caracterizada por maiores velocidades de escoamento à montante, porém, apresenta desnível topográfico moderado o que diminui a capacidade erosiva e de transporte de sedimentos causados pelo fluxo d'água (NUNES, RIBEIRO & FIORI, 2006). A Bacia do rio Belém é a mais urbanizada de Curitiba sendo que possui poucos trechos ainda não canalizados (FORTUNATO, 2006; HEINRICH, 2011). Portanto essas características similares aos afluentes pode justificar a ocorrência de sedimentos de composição granulométrica grossa.

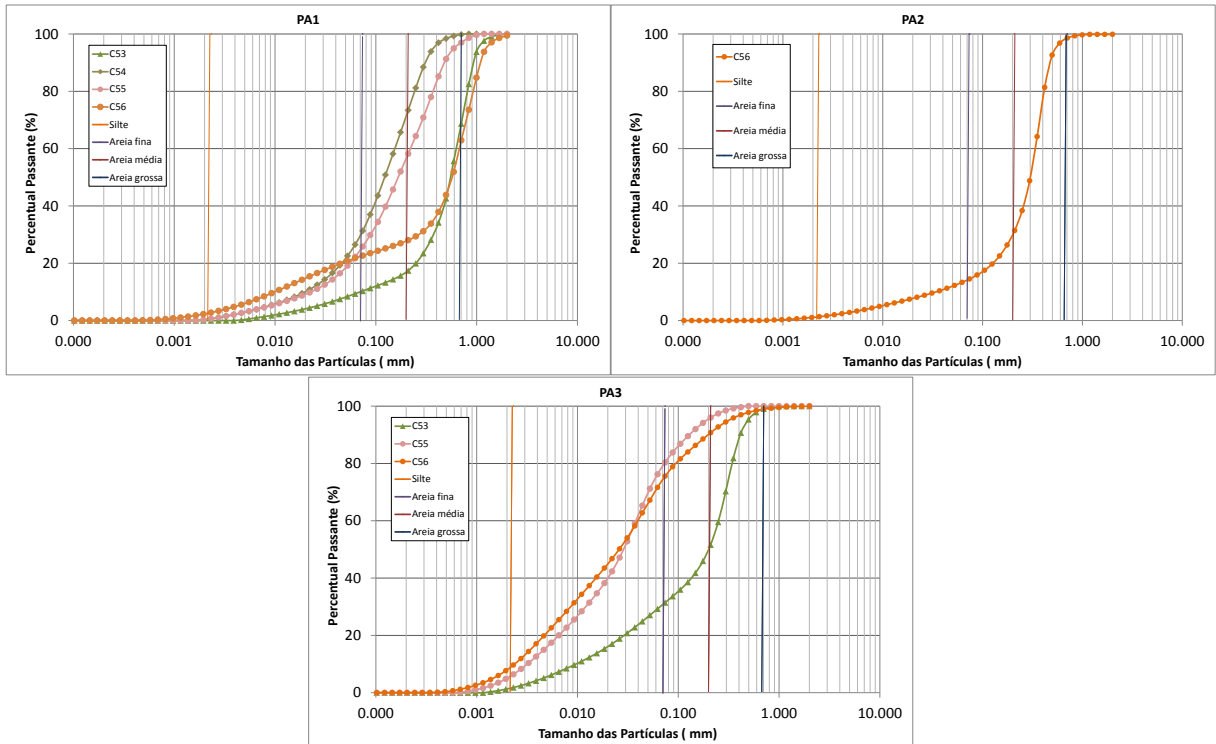
No rio Barigui o ponto BA2 localiza-se na mesma área e com coordenadas geográficas muito próximas ao ponto P02 avaliado por Martins & Froehner (2008).

Apesar disso, a composição das partículas dos sedimentos nesses pontos é distinta. O P02 tem aproximadamente a mesma proporção das frações de areia, silte e argila enquanto que o BA2 apresenta alto percentual de areia (FIGURA 55). Essas diferenças observadas para pontos próximos, podem estar associadas à diversos interferentes como: a metodologia de coleta das amostras e a localização em relação a margem; a diferença das larguras das seções transversais o que consquentemente altera as velocidades de escoamento ou simplesmente pela época distinta de amostragem. Segundo Martins & Froehner (2008), coletas próximas a margem tem maiores probabilidades de coletar partículas de diâmetros grandes de solo. As coletas feitas sobre pontes, como PA3, AT3 e BL3 por exemplo, também interferem no tipo de sedimento amostrado, por isso Kasich, Taylor & Nally (2012) não recomendam coletas nesses lugares.

Em termos da variabilidade entre as campanhas nos afluentes observa-se que as curvas não se sobrepõe da mesma forma como se observou para alguns pontos do rio Iguaçu, por exemplo para o ponto IG4. Os resultados do teste qui-quadrado ( $p$ ) indicam valores não significativos para os pontos AT1, AT2, BL1 e BA3, o que corrobora a análise visual de tendência de sobreposição das curvas granulométricas para esses pontos.

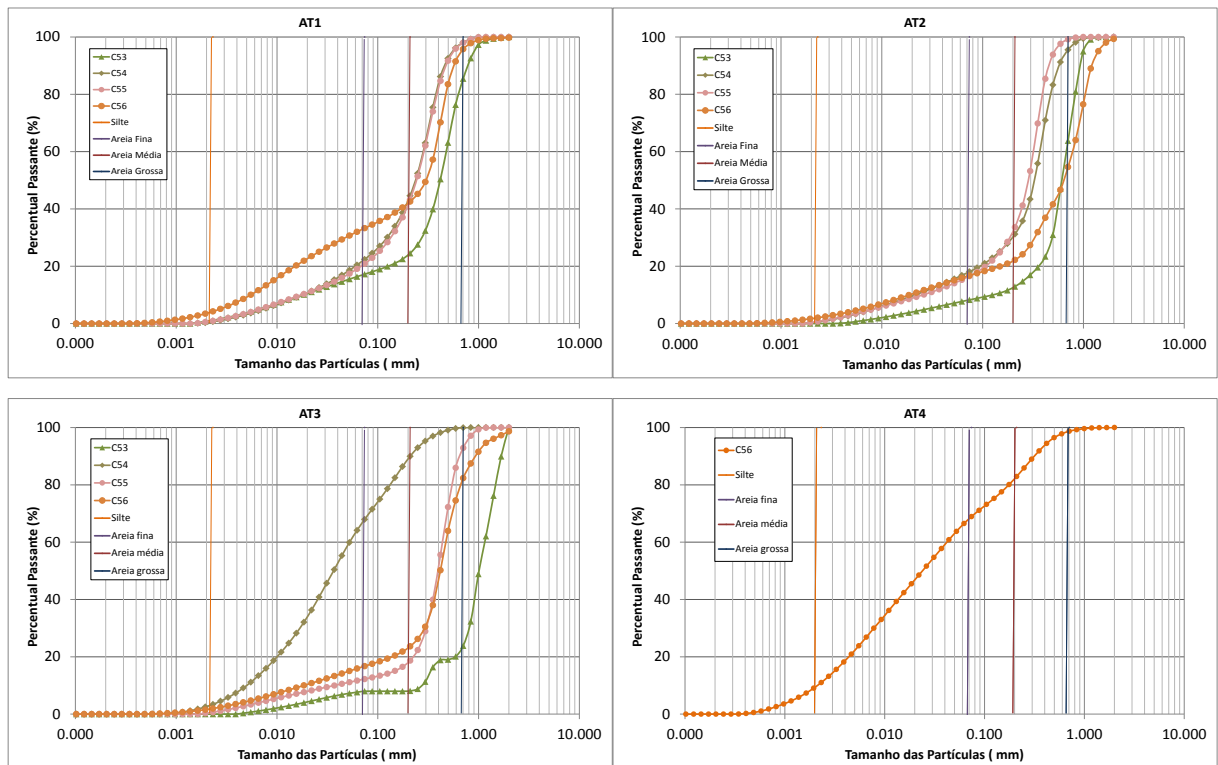
Podemos observar que casos em que houve diferença entre as campanhas, são na maioria classificados como arenosos. Essa diferença pode ocorrer devido a metodologia adotada. As amostras arenosas são mais heterogeneas em sua composição e ao selecionar uma alíquota utilizando-se um espátula com micro-colher (10 mm de comprimento por 7 mm de largura) para a análise granulométrica, podemos selecionar ora grãos maiores e ora grãos menores. Para esse casos seria mais indicado realizar as análises granulométricas integrando o uso de peneira e laser.

## Rio Palmital



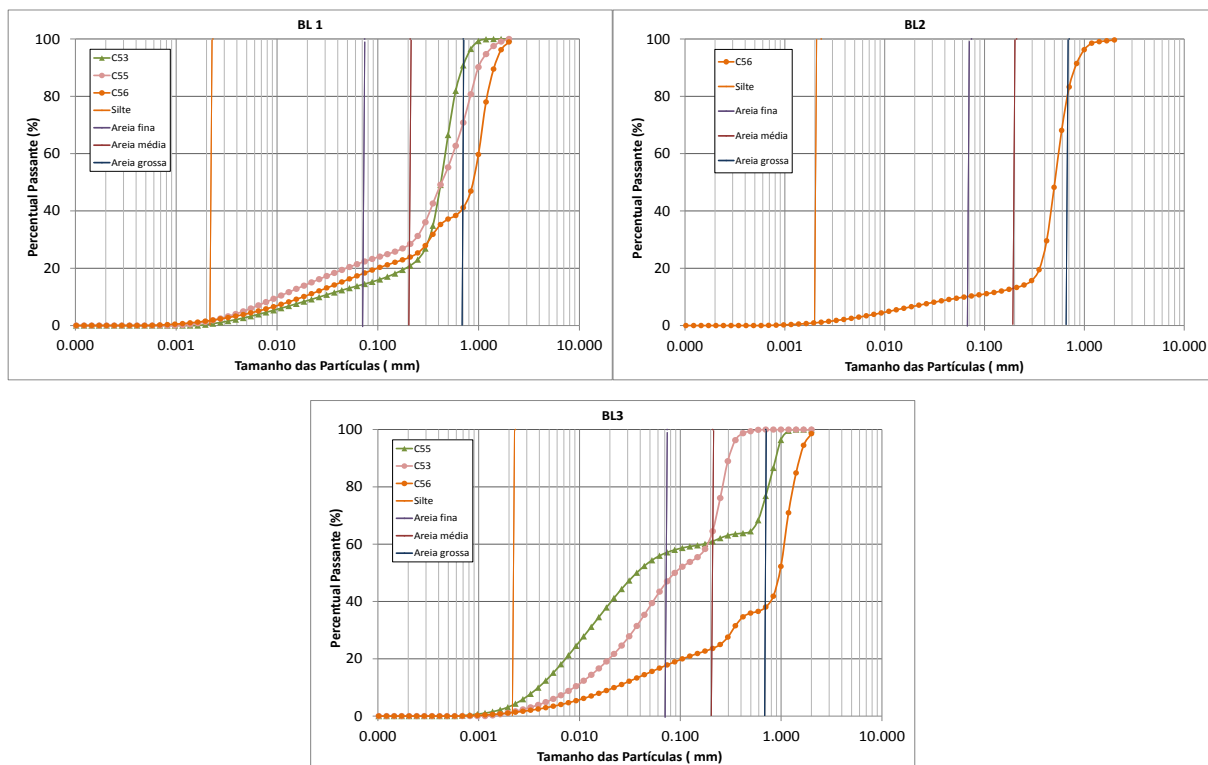
**FIGURA 21 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO PALMITAL. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.**

## Rio Atuba



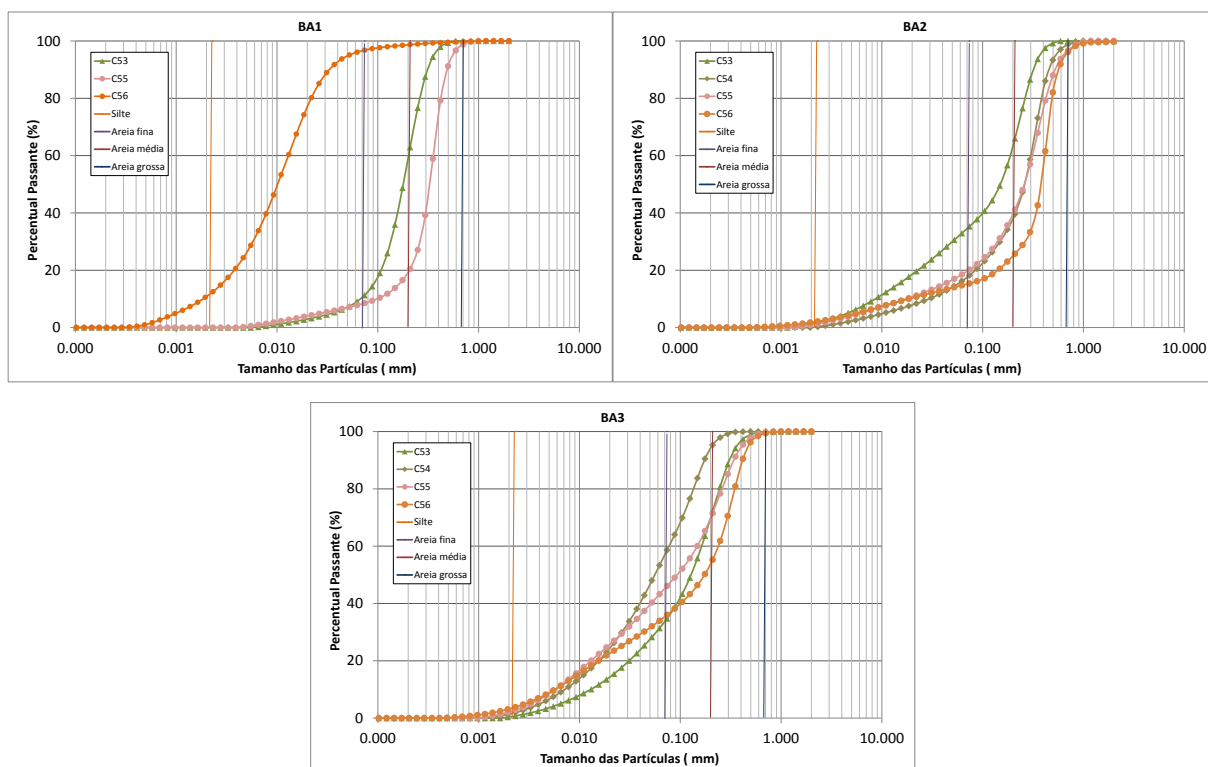
**FIGURA 22 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO RIO ATUBA. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.**

## Rio Belém



**FIGURA 23 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO BELÉM. AS LINHAS VERTICAIS INDICAM A DIVISÃO ENTRE SILTE E AS DIFERENTES FRAÇÕES DE AREIA. AS CURVAS APRESENTAM CORES DISTINTAS PARA CADA UMA DAS CAMPANHAS REGISTRADAS.**

## Rio Barigui



**FIGURA 24 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO BARIGUI**

### 4.1.3 Mapas de classificação textural dos pontos de monitoramento

Os seguintes mapas, FIGURA 25, FIGURA 26, FIGURA 27 e FIGURA 28 apresentam, através de cores, cada uma das classificações texturais obtidas nos pontos de monitoramento do Rio Iguaçu e dos afluentes. Os mapas corroboram as seguintes informações previamente obtidas com as curvas granulométricas: 1) os pontos à montante são caracterizados com grânulos maiores enquanto os pontos à jusante (tanto do rio principal como dos afluentes) são compostos de partículas mais finas; e 2) ao comparar os mapas obtidos para as campanhas C53, C54, C55 e C56 é possível verificar o que já foi constatado para as curvas granulométricas. Ou seja, há uma tendência de permanência temporal do tipo de partículas amostradas nos pontos à jusante no Rio Iguaçu a partir do IG4, exceto para o IG7 que varia entre a C54 e C56 e para o IG4 que se classifica como silte na C53. Além disso a distribuição granulométrica e textural segue um padrão geral de sedimentos grossos à montante e finos à jusante.

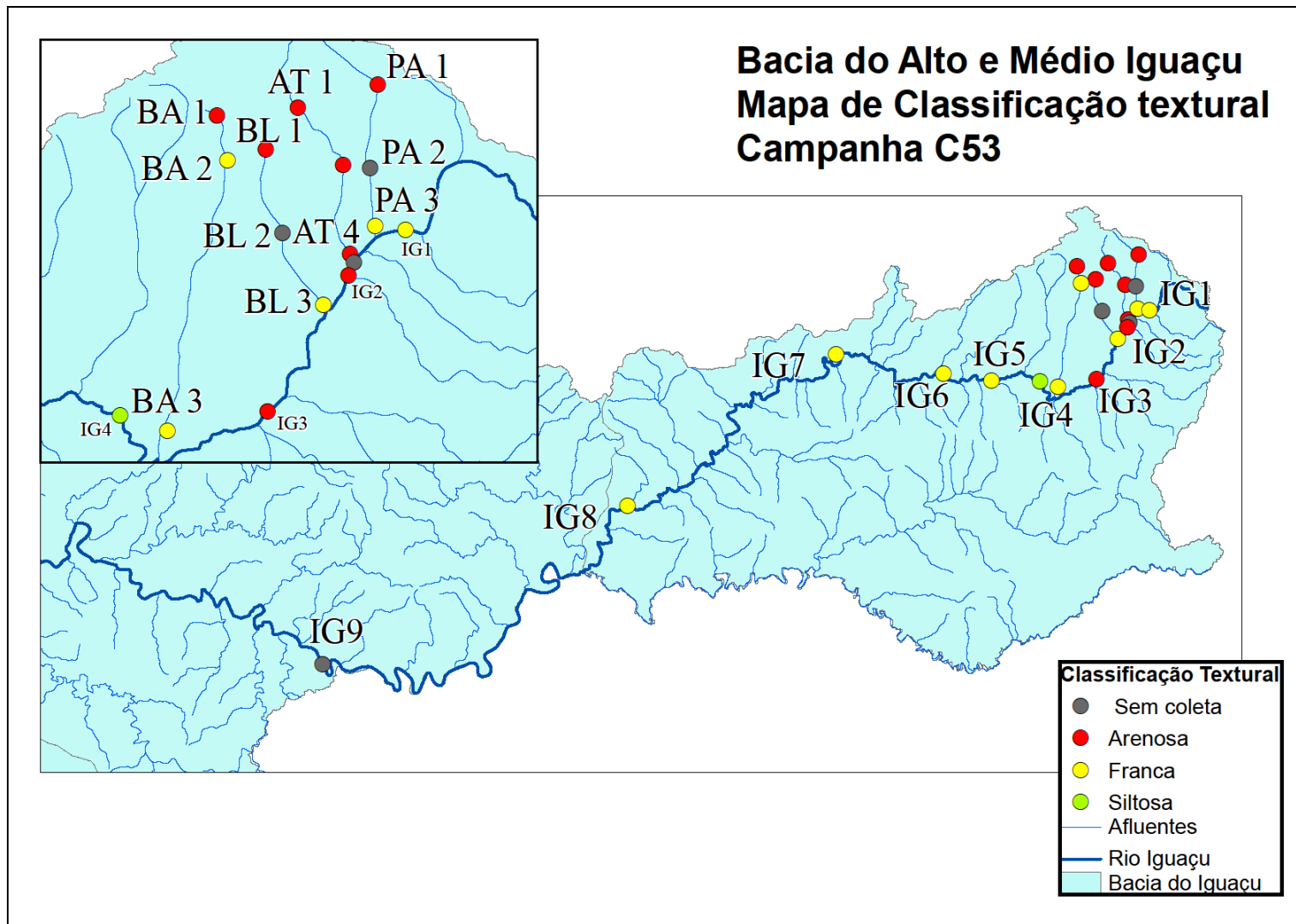
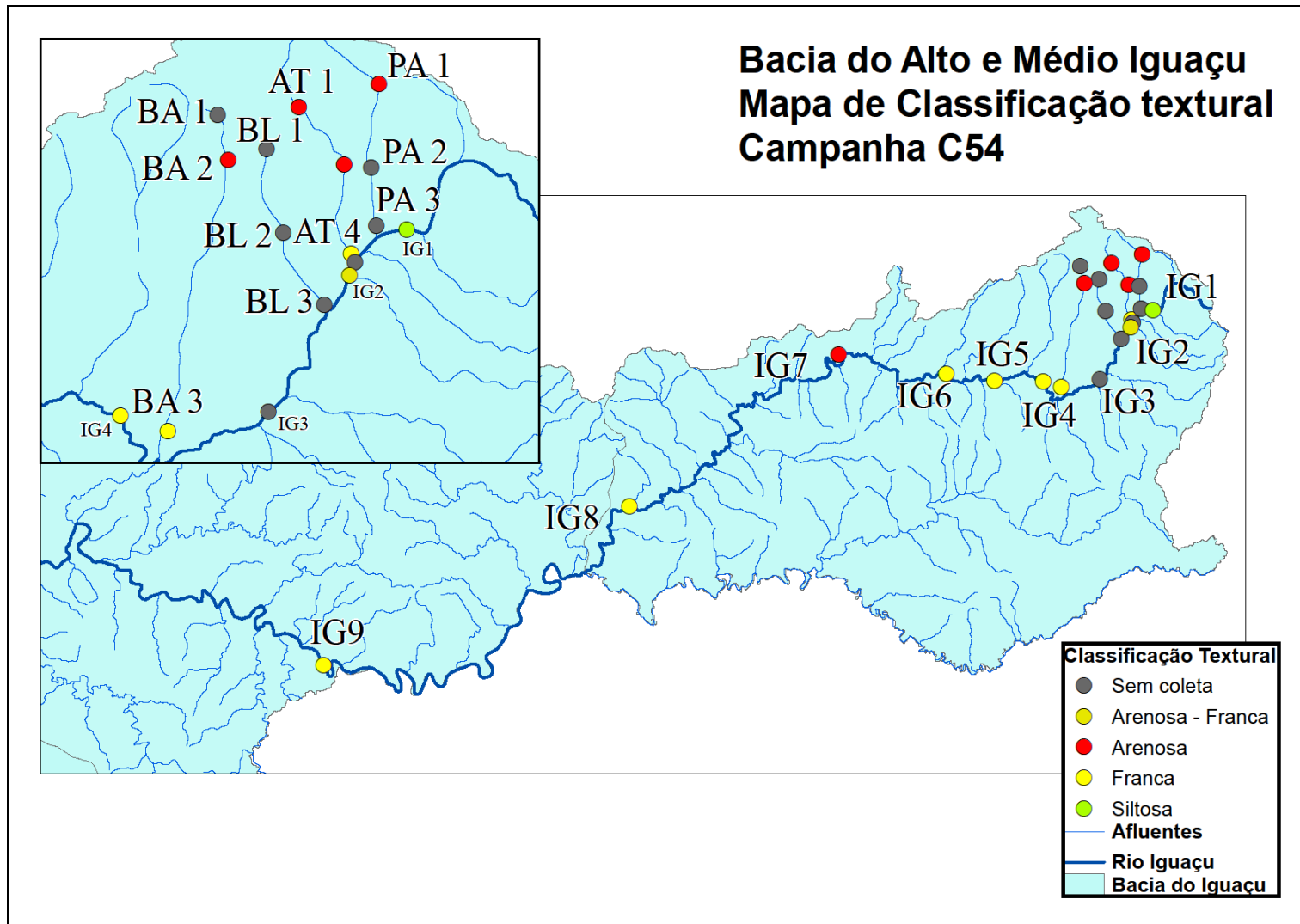


FIGURA 25 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C53



**FIGURA 26 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C54**

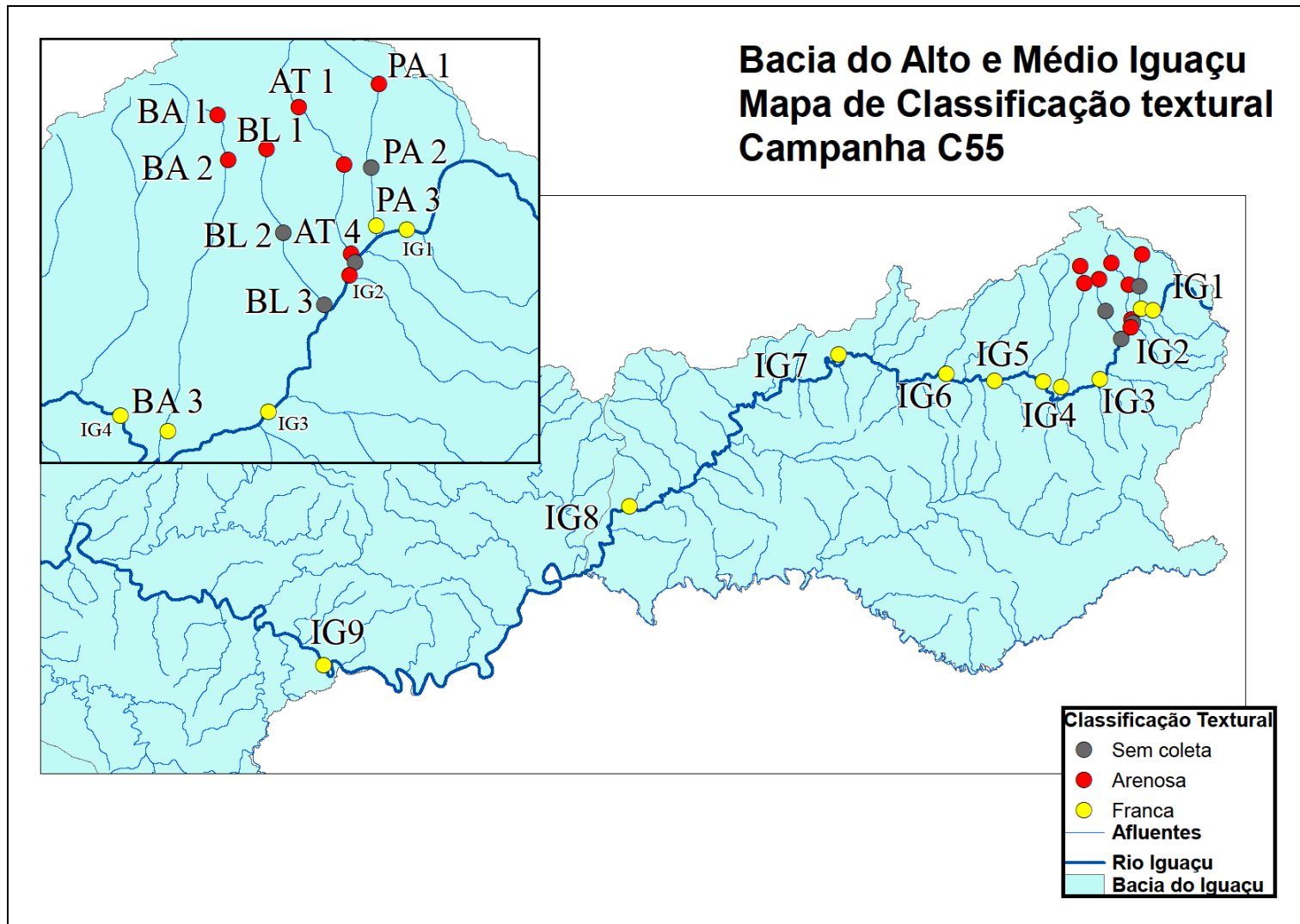


FIGURA 27 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C55

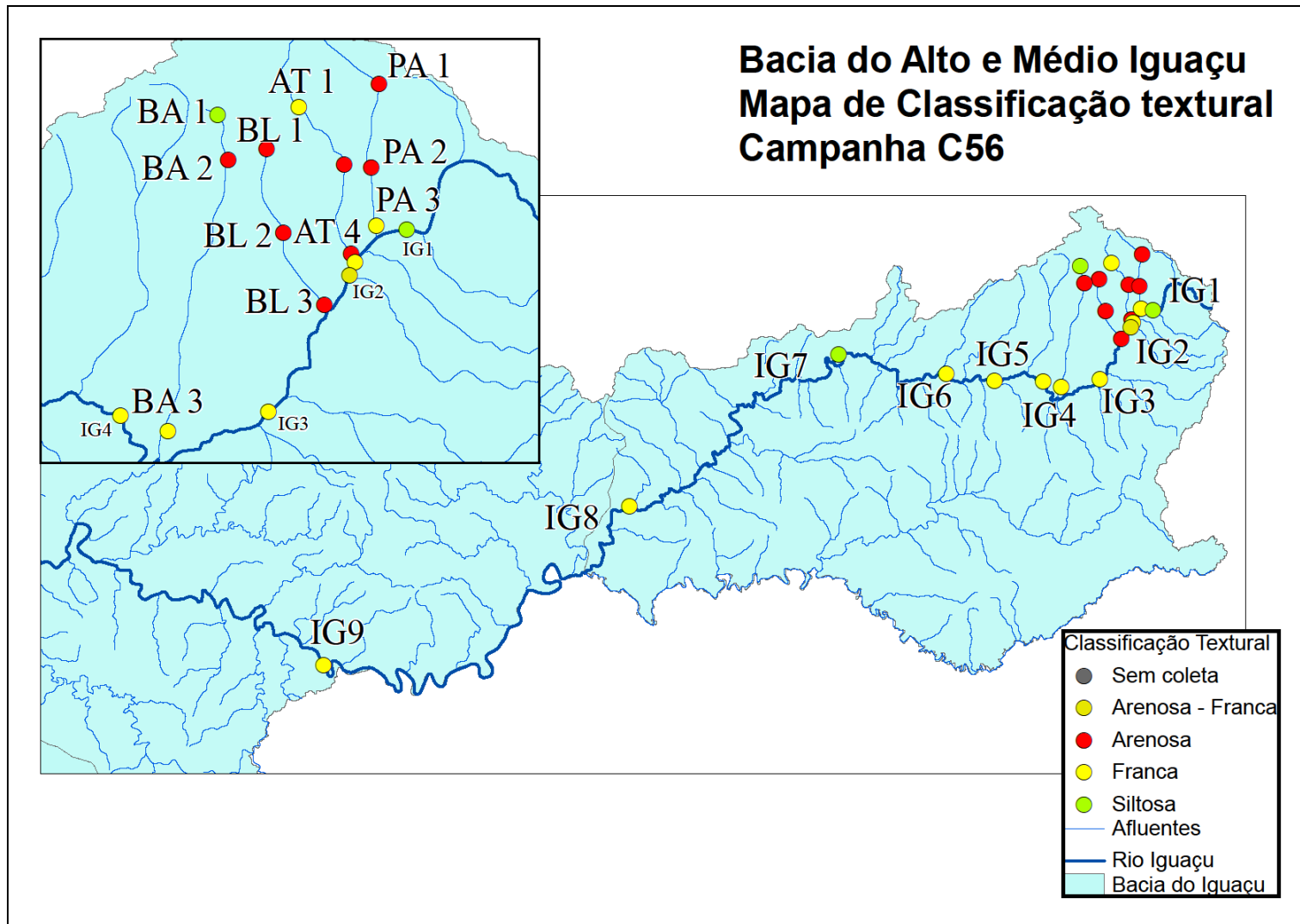


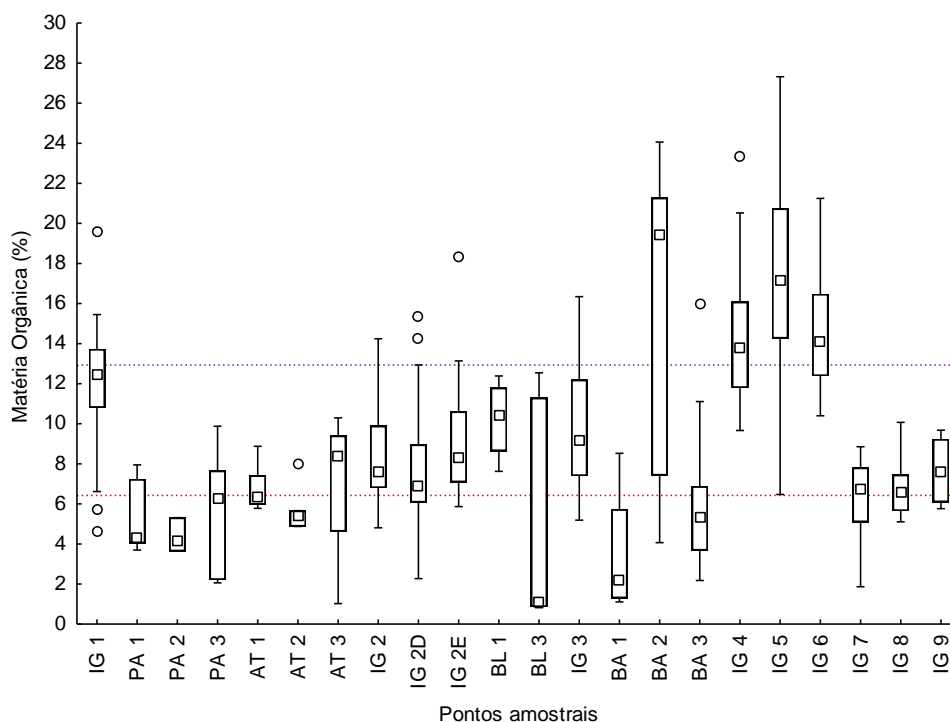
FIGURA 28 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SEDIMENTO PARA A C56

## 4.2 MATÉRIA ORGÂNICA – ÁGUA E SEDIMENTO

### 4.2.1 Análise dos dados

Foram selecionados dois parâmetros para indicar a presença de matéria orgânica: DBO (mg O<sub>2</sub>/L) e o COD (mg C/ L) na água e MO (%) e o COT (mg C/g) no sedimento.

Sedimentos com mais de 10% de MO são considerados orgânicos podendo ser de origem autóctone (proveniente de dentro do sistema aquático ) e alóctone (fonte externa ao sistema) (ESTEVES, 2011). O *box plot* da FIGURA 29 mostra que apenas os pontos IG1, BL1, BA2, IG4, IG5 e IG6 apresentam medianas acima de 10% para a MO.



**FIGURA 29 - BOX PLOT DA MATÉRIA ORGÂNICA (%) NO SEDIMENTO PARA OS DADOS REGISTRADOS EM TODAS AS CAMPANHAS. LINHA ROXA SUPERIOR INDICA QUE OS VALORES ACIMA DO LIMITE CLASSIFICADO COMO PÉSSIMO**

Apesar das faixas estipuladas nesse trabalho classificarem a matéria orgânica como BOA, RUIM ou PÉSSIMA, esse parâmetro de qualidade não é indicativo necessariamente de poluição. Já que alguns pontos, por exemplo, o IG1 apresentam elevadas concentrações de MO e apesar disso é um ponto com boa qualidade de

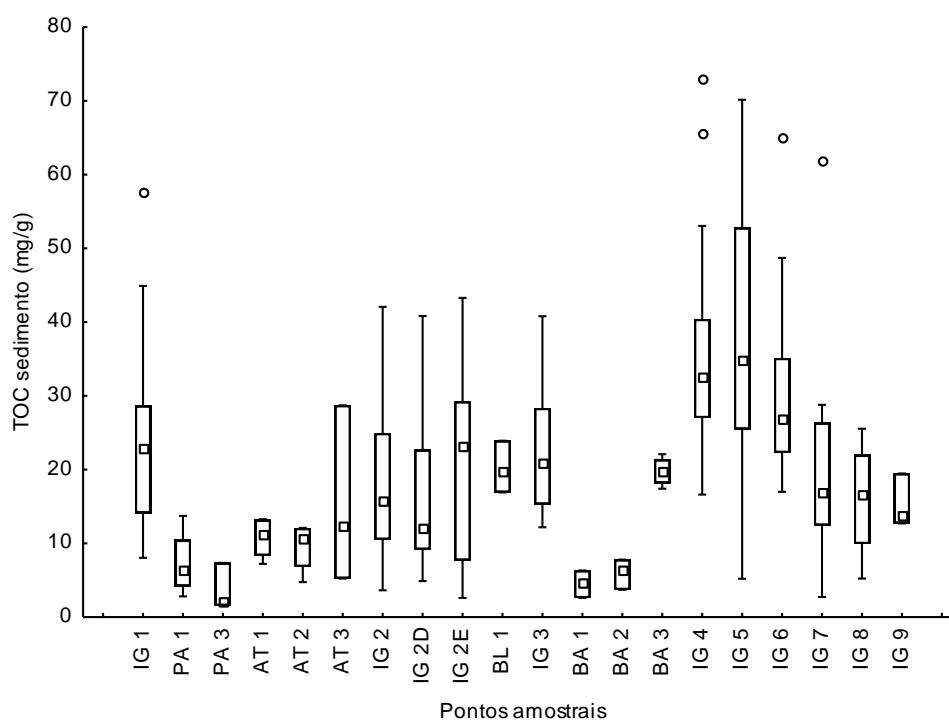
água e dos demais parâmetros no sedimento. Cabe ressaltar que a classificação nas três faixas determinadas neste trabalho para a MO, buscam indicar que elevados percentuais de MO podem inferir em uma possível absorção de contaminantes traços e de nutrientes. Isso porque as partículas de sedimento finas e, com elevado teor de MO apresentam uma tendência a acumular mais poluentes do que os grãos pobres em MO.

Devido à localização dos pontos com MO acima de 10% é possível supor que apenas para o IG1 e IG6 o elevado percentual de matéria orgânica não é originário de efluentes. Essa hipótese pode ser corroborada através das análises das FIGURA 31 e FIGURA 32, que mostram que para DBO e COD ambos os pontos apresentam baixas concentrações medianas no rio Iguaçu. De forma geral os *box plots* de MO e COT indicam que há relação entre tamanho de grãos de sedimento e concentrações de parâmetros químicos. Exceto para pontos de composição mista de silte e argila, como os pontos IG8 e IG9 que tenderiam a apresentar elevadas concentrações e, para o ponto BA2, que é arenosos e tenderia a apresentar baixos valores de MO e COT no sedimento (FIGURA 30). Portanto pode-se inferir que para o BA2 a mediana de MO próximo a 20%, que supera os valores medianos de todos os pontos amostrais, indica que o aporte de MO. BA2 apresentar elevada MO e a mediana para COT no sedimento é a segunda menor dentre todos os pontos. Duas hipóteses podem explicar esse comportamento: 1) a amostra arenosa do BA2 pode ter componentes que foram eliminados no método de determinação da MO. Isso porque o método de obtenção da MO pela mufla a 550 C pode eliminar diferentes compostos como fosfatos, sulfatos, gesso e calcário além de apenas carbono, o que resultaria em um valor de MO superior ao real (CARMO, 2014). 2) Devido ao ponto BA2 estar localizado nas proximidades do parque Tingui espera-se encontrar uma condição ambiental em termos de biota menos impactados do que para pontos em meio à regiões totalmente urbanas. Portanto, a MO possivelmente está sendo mais influenciada pelos seus demais elementos componentes do que apenas pelo carbono orgânico já que as medianas para COT e o NT no sedimento nesse ponto também foram baixas.

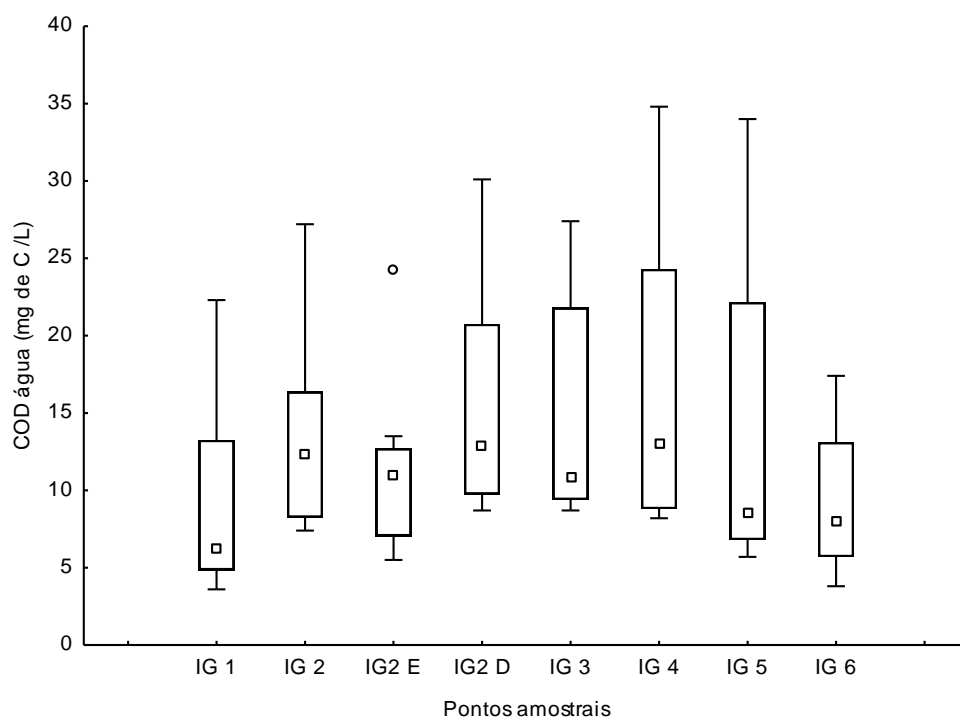
Os pontos IG1, IG4, IG5 e IG6, classificados como amostra franca, apresentaram os maiores valores de MO (depois do BA2) e de COT no sedimento. Isso indica que a matéria orgânica é composta em sua maior parte por carbono

orgânico. Além disso a granulometria desses pontos contribui para valores altos. No IG1, a mediana para DBO (mg/L) na amostra líquida é reduzida comparativamente aos pontos à sua jusante. Esse resultado, assim como os obtidos para sedimento nesse ponto corroboram a hipótese de que a matéria orgânica encontrada no sedimento é proveniente da biota local e não de aporte de afluentes. Os pontos mais a jusante, como o IG5 e IG6 refletem parcialmente a hipótese que o aporte de efluentes não é mais tão elevado à jusante (como pode mostrar o mapa de uso e ocupação do solo dessa região).

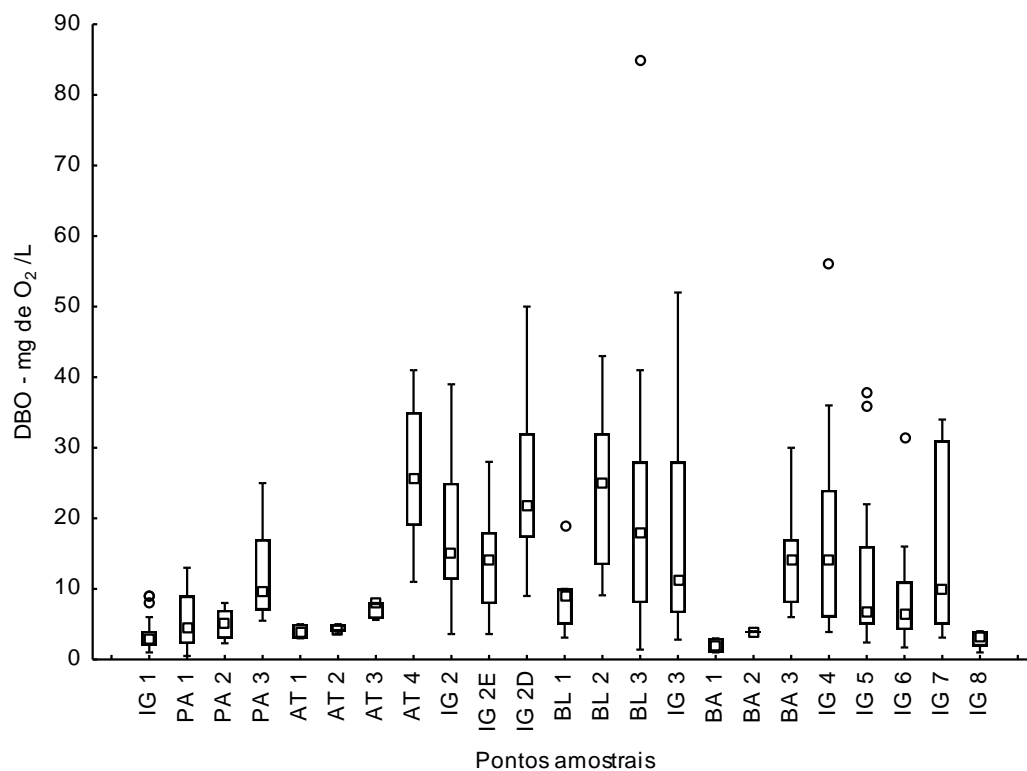
De uma forma geral, observa-se que tanto nas amostras de água como de sedimento há variabilidade dos resultados, isso se evidencia através do tamanho dos *box plot* e adicionalmente, independente da granulometria, os parâmetros analisados mostram valores mais elevados nos pontos intermediários entre o IG2 e IG3.



**FIGURA 30 - BOX PLOT DAS CONCENTRAÇÕES DE COT (mg/g) NO SEDIMENTO PARA TODAS AS CAMPANHAS REGISTRADAS NA BASE DE DADOS POR PONTO DE MONITORAMENTO**



**FIGURA 31 - BOX PLOT DAS CONCENTRAÇÕES DE COD (mg/L) PARA AS AMOSTRAS DE ÁGUA NO RIO IGUAÇU**



**FIGURA 32 - BOX PLOT DE DBO (mg/L) PARA AS AMOSTRAS DE ÁGUA**

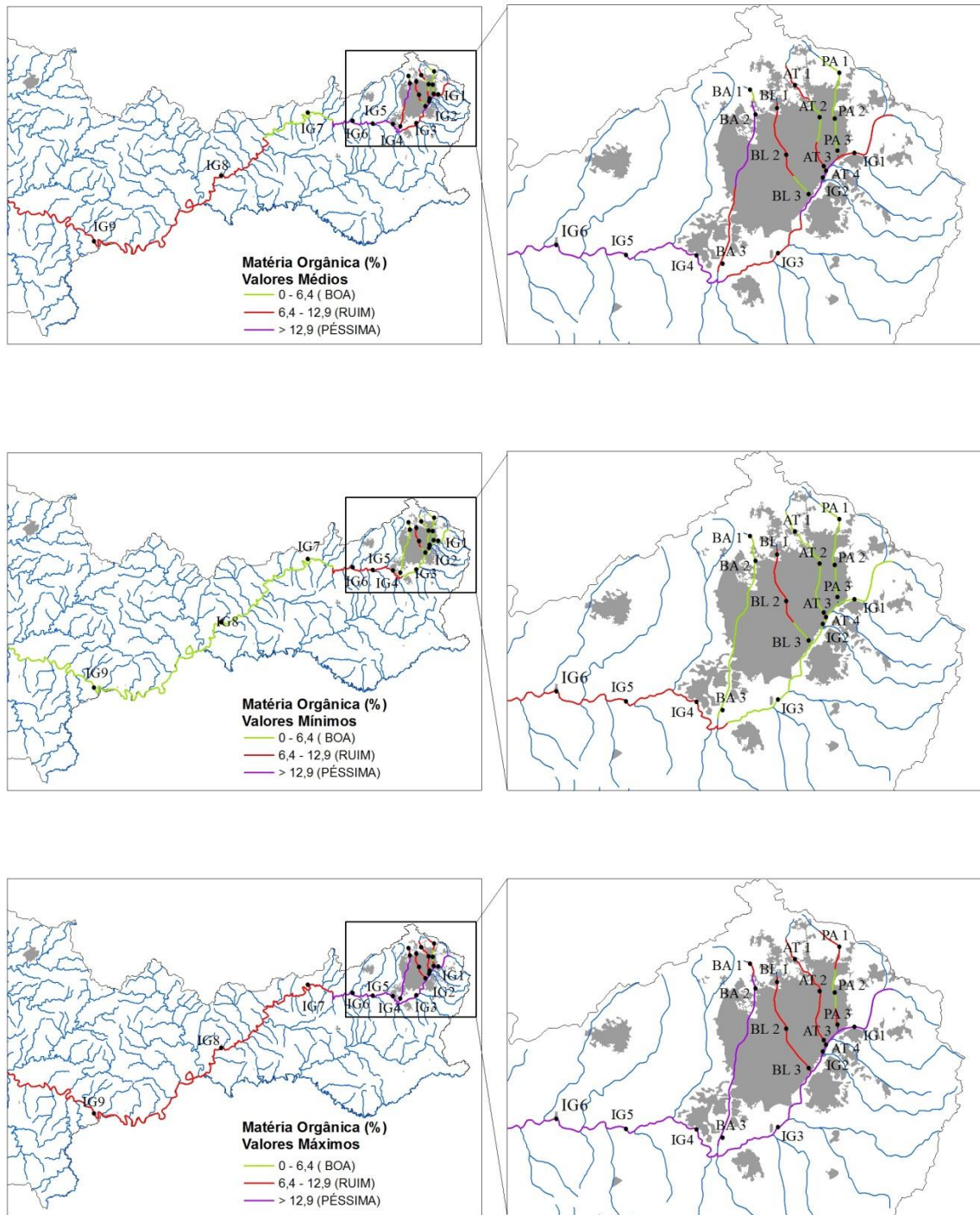
Para uma análise mais aprofundada dos resultados faz-se necessária a padronização das escalas utilizadas tanto para montar os *box plot* como para gerar os mapas. Ou seja, deve-se utilizar as mesmas campanhas, com os mesmos números de amostras para todos os pontos de monitoramento. Já que essa variabilidade no número dos dados por ponto pode interferir nos resultados apresentados. Por exemplo, para a DBO nas amostras líquidas, o ponto IG1 apresenta baixas concentrações e pequeno tamanho do *box plot*, bem como o que se observa para o BA2. Porém, os  $n$  amostrais dos dois pontos monitorados são 22 e 5 respectivamente, o que possivelmente interfere nesses resultados.

#### 4.2.2 Mapas para MO no sedimento

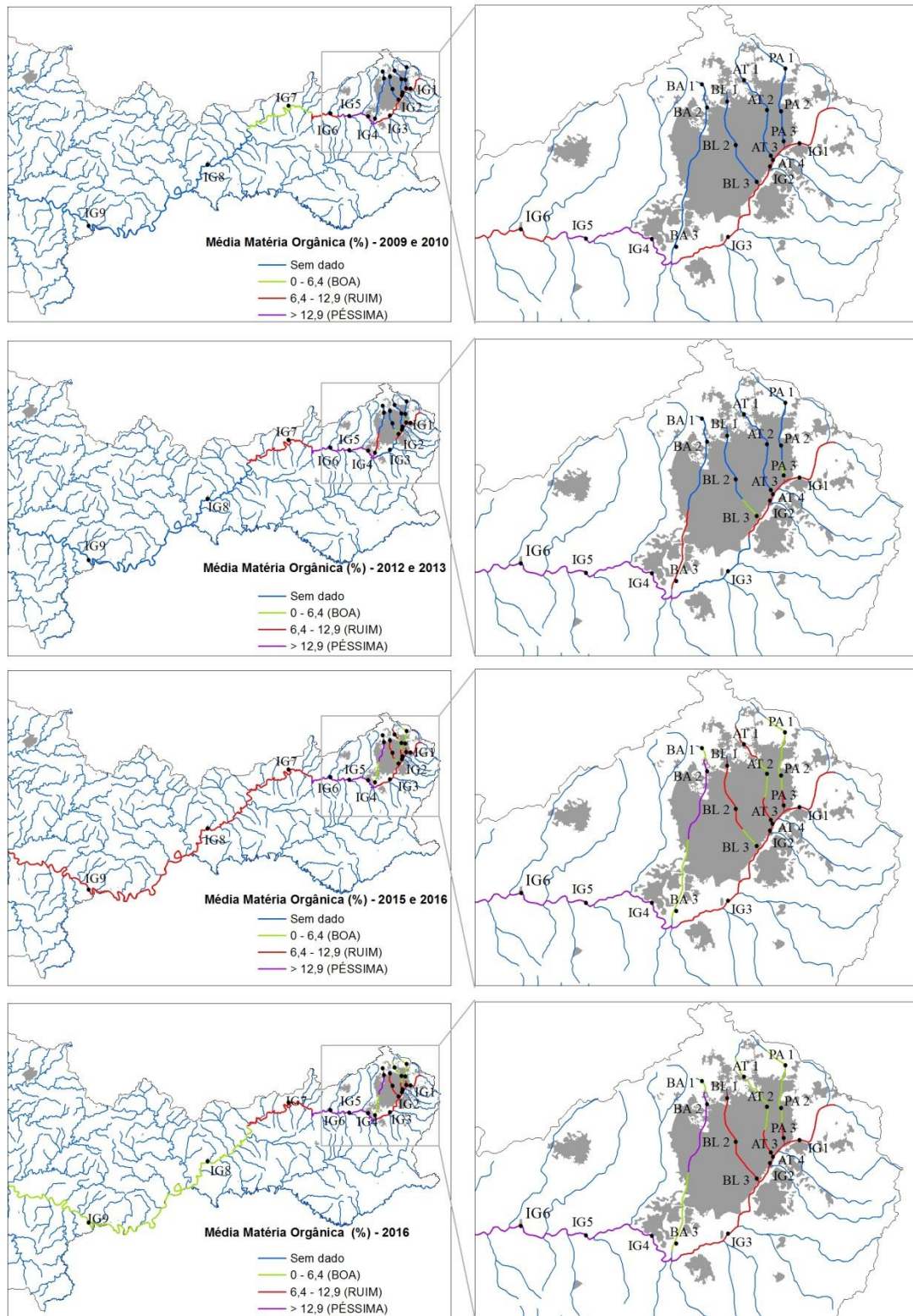
As classes de MO são sensíveis à pequenas mudanças, já que a classificação determina no máximo 12,9% de MO. Como no rio Iguaçu as amostras de sedimentos de forma geral são compostas por grãos finos e que apresentam elevados teores de MO todos os cenários propostos apresentam pontos ruins e péssimos. A classificação ruim e péssima só não foi constatada para a análise dos valores mínimos.

Aqui cabe ressaltar novamente que a classificação da MO nas faixas de RUIM e PÉSSIMA podem ser entendidas como a tendência, que as amostras finas e com elevados teores de MO, apresentam de reter poluentes.

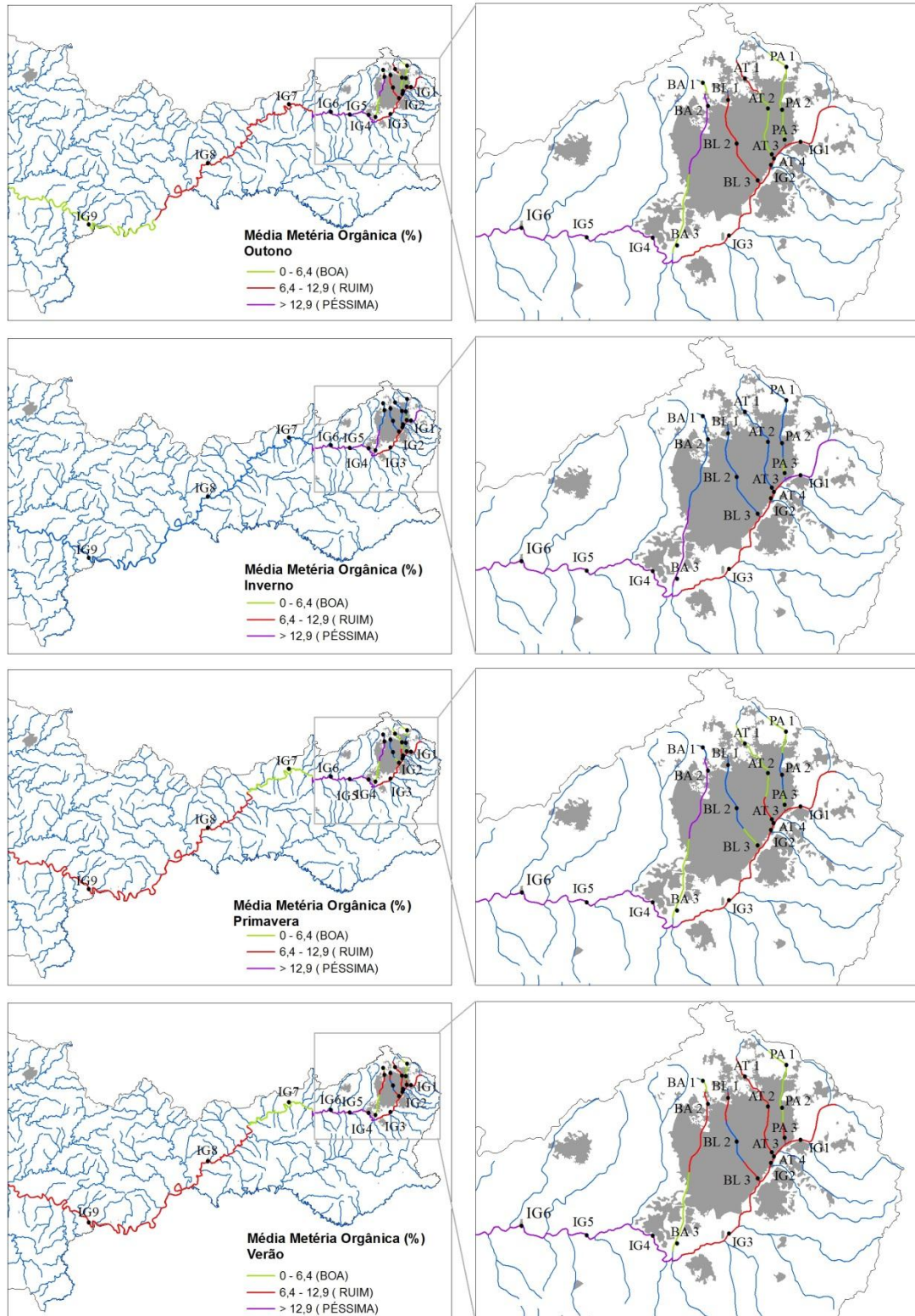
A FIGURA 33 apresenta os valores máximos, mínimos e médios, a FIGURA 34 mostra a classificação obtida, considerando o cenário evolutivo das médias a cada dois anos e, por fim a FIGURA 35 mostra os cenários observados em cada uma das estações do ano.



**FIGURA 33 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DA MO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E MÉDIOS OBSERVADOS**



**FIGURA 34 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DA MO (%) POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES AGRUPADOS PARA AS MÉDIAS DAS CAMPANHAS DE DOIS ANOS**



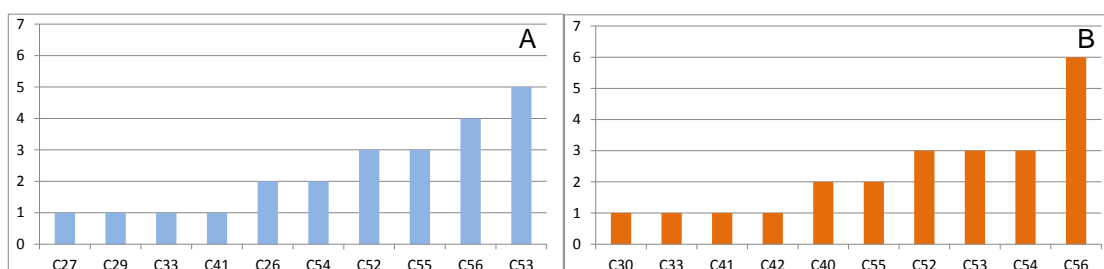
**FIGURA 35 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DA MO (%) POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NAS ESTAÇÕES DO ANO**

Assim como os *box plot* (FIGURA 29) , os mapas de classificação de MO mostram que os pontos arenosos apresentam os menores percentuais de MO, enquanto os pontos com amostras finas, principalmente aqueles localizados no Rio Iguaçu, acabam sendo classificados em todos os cenários como RUIM ou PÉSSIMO para a MO. A classificação de MO só varia drasticamente no cenário da avaliação dos valores mínimos.

### 4.3 FÓSFORO TOTAL – ÁGUA E SEDIMENTO

#### 4.3.1 Análise dos dados

Ao analisar a distribuição das frequências de concentrações mínimas de FT registradas, observa-se uma distribuição mais homogênea (FIGURA 36 A) . Em contrapartida, as concentrações máximas de FT se concentraram na C56, ou seja, foram detectados 6 pontos amostrais com suas concentrações máximas na C56 (FIGURA 36 B).

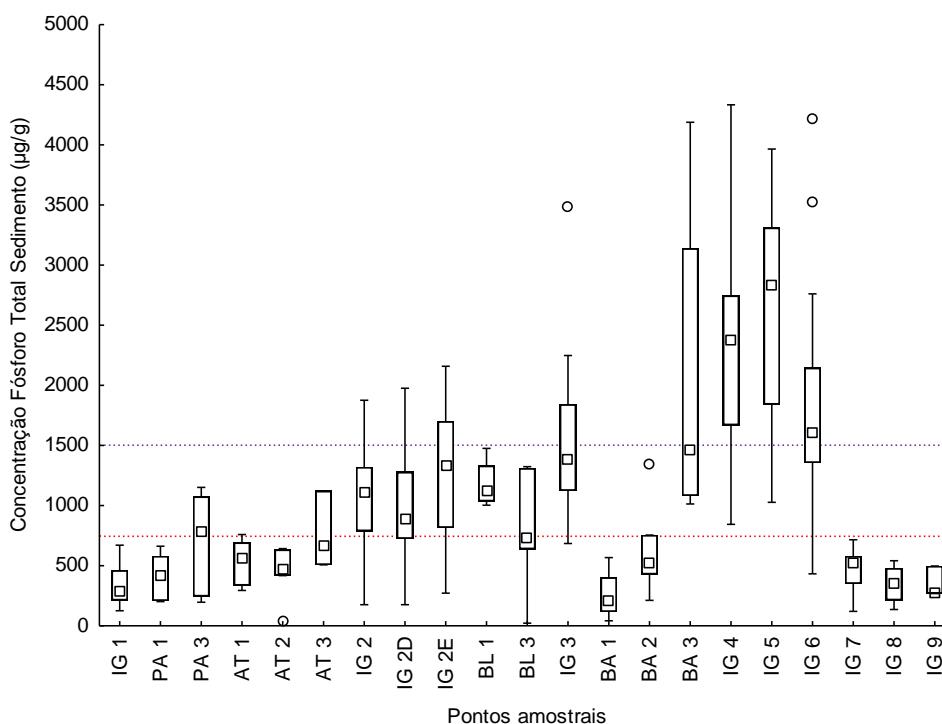


**FIGURA 36 - GRÁFICOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA EM ORDEM CRESCENTE PARA AS CONCENTRAÇÕES DE FT NO SEDIMENTO: A) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, B) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS**

Com base nos dados de água e sedimento foram gerados os *box plot* por ponto amostral. Não foi possível gerar o box para os pontos PA2, AT4 e BL2 pois possuem menos de 2 dados monitorados no sedimento. Os *box plot* para as análises de sedimentos estão apresentados na FIGURA 37. Com relação aos limites das faixas propostas neste trabalho para classificar FT no sedimento, observou-se que: dos pontos classificados com qualidade BOA, apenas o IG1 está entre os 9 pontos que possui dados para as 25 campanhas, os demais têm de 3 a 6 dados registrados. Isso pode ter interferido e contribuído para uma distribuição menos

dispersa desses dados. Sendo assim, pontos como o IG8 e IG9 podem não necessariamente estar como uma qualidade boa, apenas o resultado é reflexo da baixa amostragem. Adicionalmente os pontos classificados como de boa qualidade são arenosos, o que contribui para menores concentrações de FT no sedimento, e então podendo subestimar os valores reais. Novamente as concentrações do IG1 refletem de maneira mais precisa os valores reais, pela sua característica siltosa. De maneira oposta, os pontos arenosos localizados na faixa de classificação de boa a ruim podem ter suas concentrações de FT ainda subestimadas.

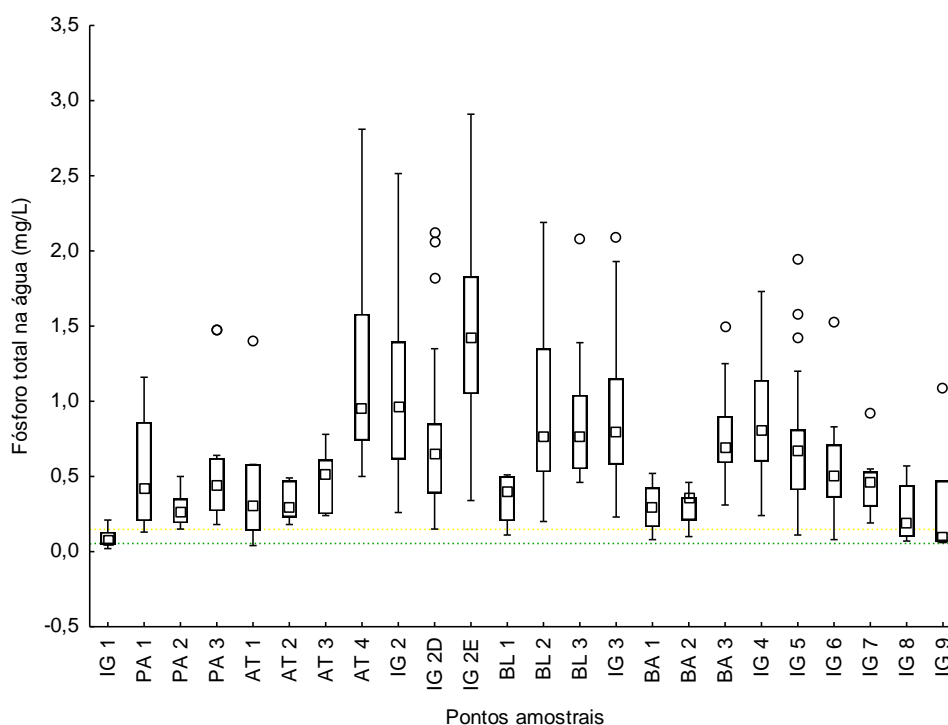
Já para os pontos com os *box plot* que abrangem a faixa de classificação RUIM OU entre RUIM e PÉSSIMA apenas os pontos BL1 e BA3 apresentam composição de areia sendo mais de 50% do total, o que indica que realmente esses pontos possuem elevadas concentrações. Porém o IG4 e IG5 têm menos de 50% de areia (ou seja, são finos) supomos as maiores concentrações dos parâmetros químicos devido à maior presença de finos. Por fim, os pontos que apresentam concentrações máximas e mínimas que englobam as três faixas propostas de classificação de FT no sedimento, estão localizados no rio Iguaçu: IG2D, IG2E, IG3 e IG6, podendo inferir uma maior variabilidade para essas seções amostrais.



**FIGURA 37 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE FT NO SEDIMENTO**

Os pontos que tem os maiores tamanhos dos *box plot* são aqueles com as maiores variações dos dados monitorados, observa-se que os pontos BA3, IG4, IG5 e IG6 são aqueles com as maiores discrepâncias entre os mínimos e máximos. Relacionando essa constatação com o padrão homogêneo temporalmente observado para as granulometrias do IG4, IG5 e IG6, é possível comprovar oscilação no aporte de cargas poluidoras nesses pontos.

No caso das amostras de água (FIGURA 38) todos os pontos ultrapassam os limites estabelecidos para a classe 2. E apenas os pontos encontram-se na faixa entre classe 2 e 3: IG1, PA1, AT1, BL1, BA1, BA2, IG5, IG6, IG8 e IG9. O que indica que para FT na água as amostras refletem o aporte antrópico de poluentes. Novamente como o padrão já constatado na MO, os pontos à montante ou à jusante apresentam menores concentrações ou já passaram por zonas de autodepuração .



**FIGURA 38 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE FT NA ÁGUA**

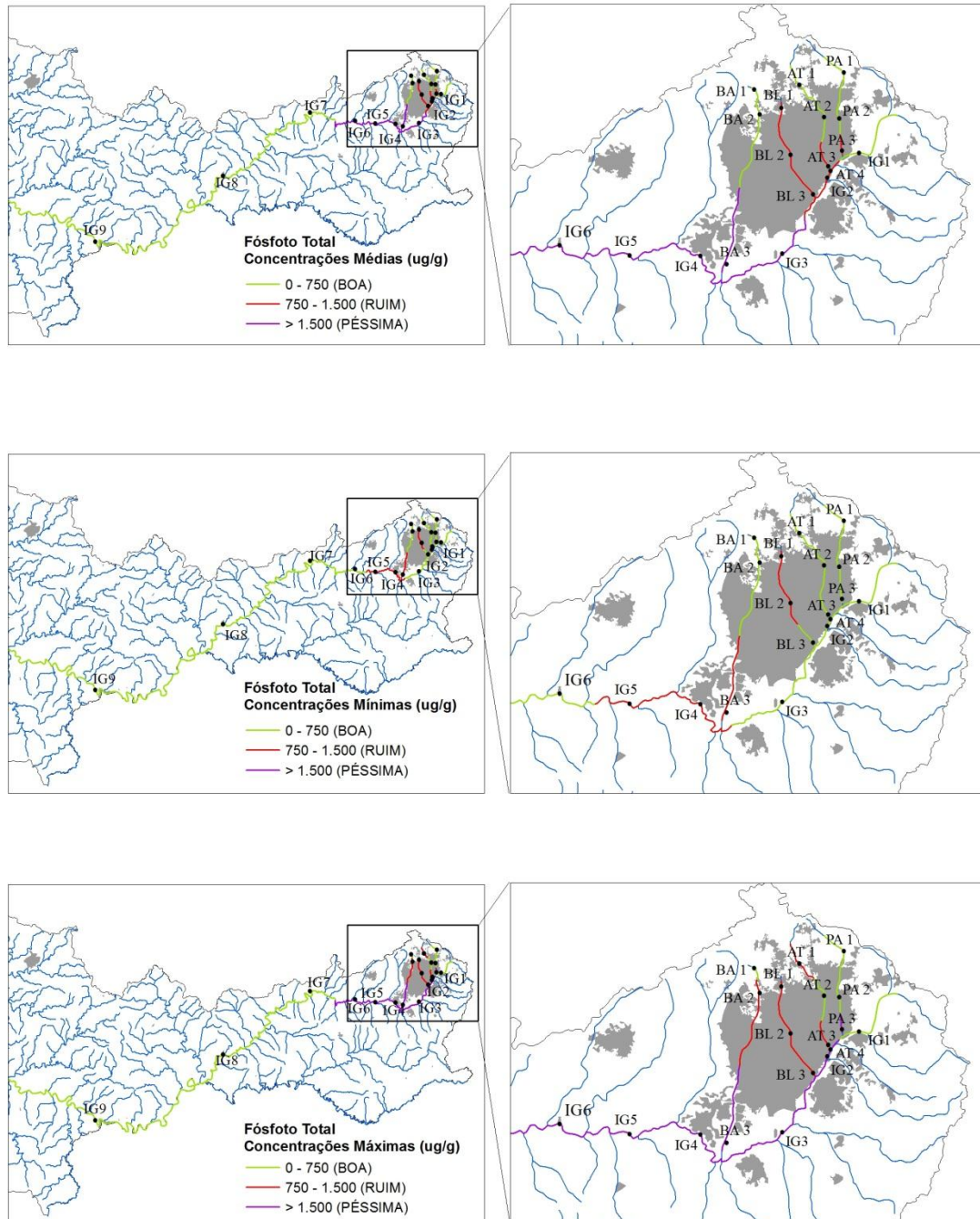
#### 4.3.2 Mapas para FT no sedimento

Os mapas gerados para ilustrar esse comportamento do FT nas amostras de sedimento são apresentados nas figuras abaixo (FIGURA 39, FIGURA 40 e FIGURA 41). As mesmas análises realizadas para os mapas de MO foram

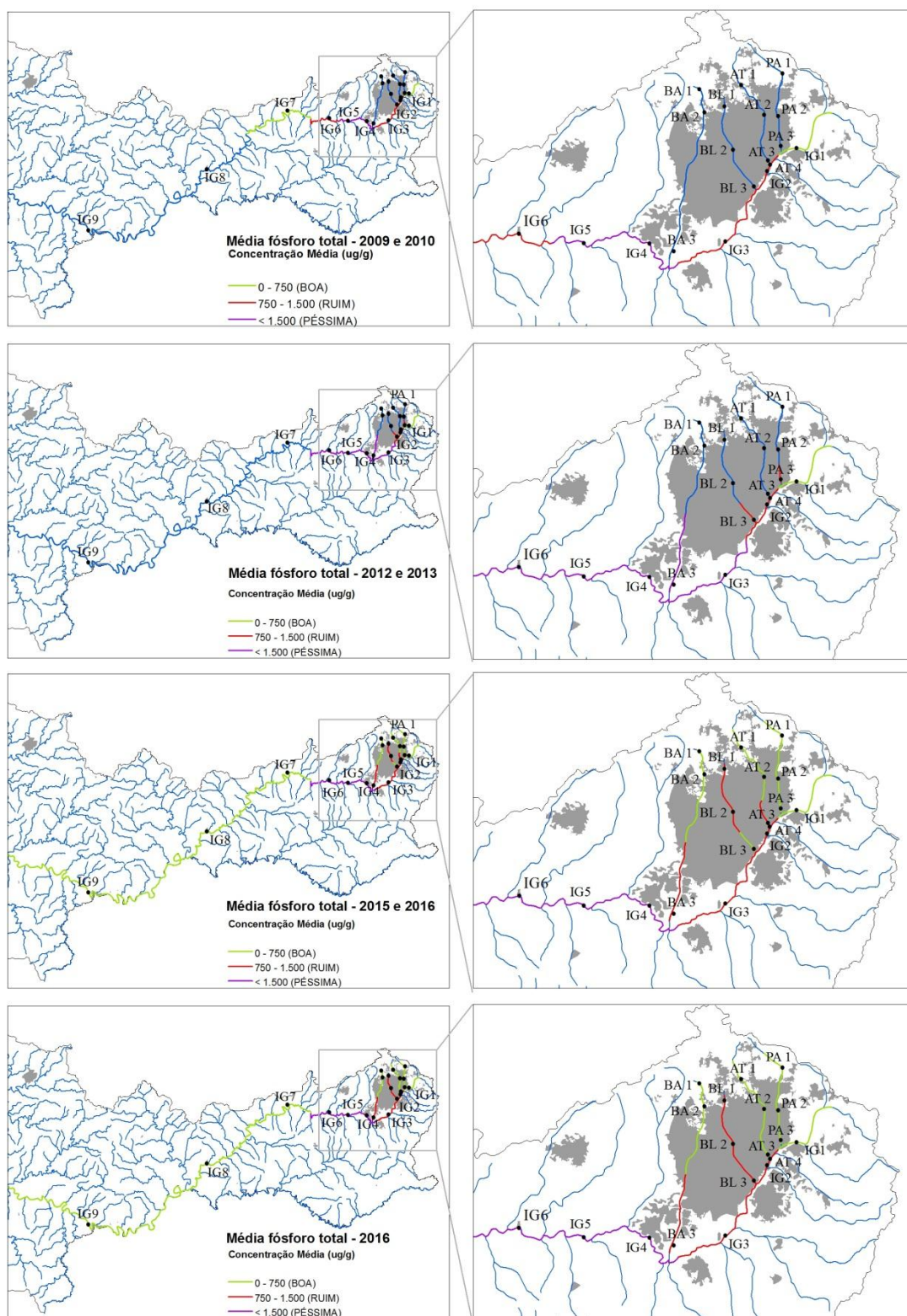
feitas para a apresentação dos mapas de FT e NT no sedimento. Para as concentrações de FT, observa-se que independentemente da combinação realizada para os dados médios, todos os cenários apresentam trechos classificados criticamente. Porém, os pontos de IG1, IG8 e IG9 não apresentaram em nenhuma das situações classificação inferior a BOA. Os pontos de cabeceira dos afluentes só ficam classificados como RUIM na análise das concentrações máximas. Porém os mapas evidenciam trechos altamente críticos, que se classificam em todas as situações com péssimo ou ruim, isso ocorre do IG2 ao IG6.

Diferentemente dos mapas de MO em que se observa que a classificação ruim ou péssima está apenas relacionada com as características físicas dos grãos de sedimentos, para FT os resultados já refletem a dinâmica de ocupação do solo.

Tanto para as análises bi-anuais como nas estações do ano, há um acúmulo de elevadas concentrações nos trechos localizados mais à montante, tanto para o rio principal como para os afluentes.



**FIGURA 39 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E MÉDIOS OBSERVADOS**



**FIGURA 40 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES AGRUPADOS PARA AS MÉDIAS DAS CAMPANHAS DE DOIS ANOS**

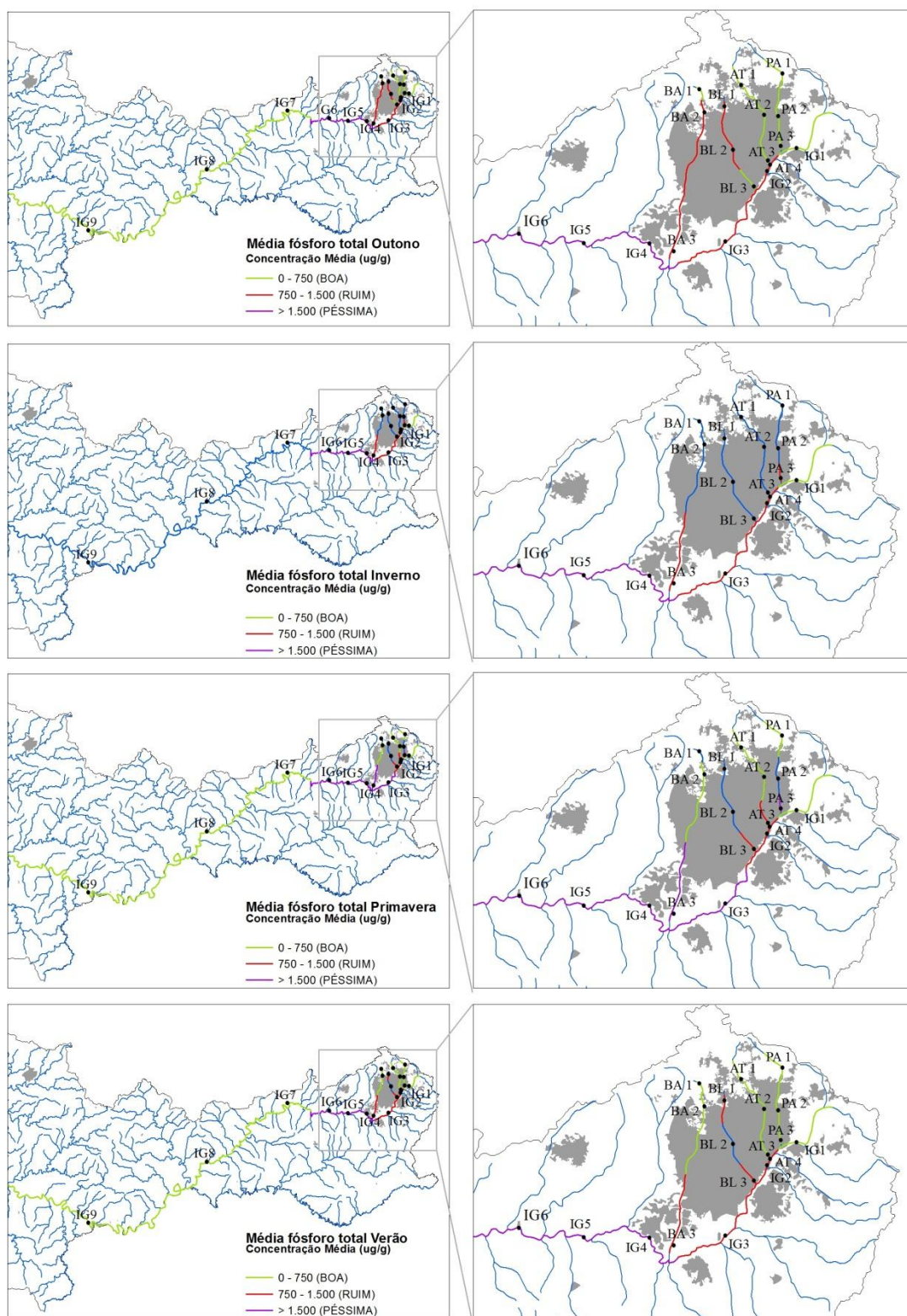
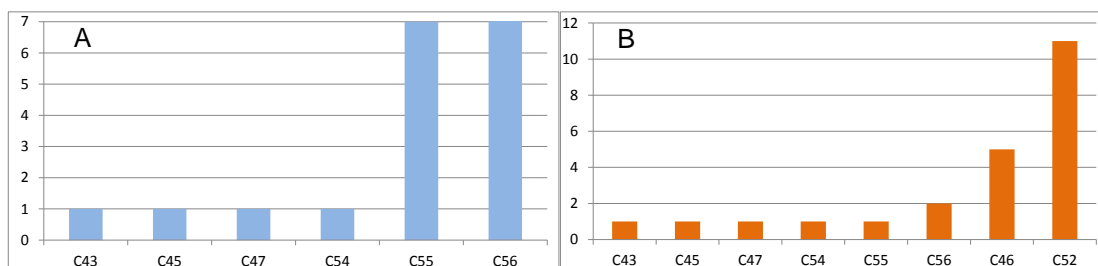


FIGURA 41 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, APRESENTADOS OS VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NAS ESTAÇÕES DO AN

## 4.4 NITROGÊNIO TOTAL – ÁGUA E SEDIMENTO

### 4.4.1 Análise dos dados

Avaliando a frequência de distribuição dos dados históricos para NT no sedimento observou-se que os valores de concentrações mínimas foram registradas na C56 com uma frequência de 11 valores, seguido da C53 com 7 registrados (FIGURA 42 A) . Já as concentrações máximas aparecerem 11 vezes, ou seja, em 11 pontos de monitoramento na C52 (FIGURA 42 B).

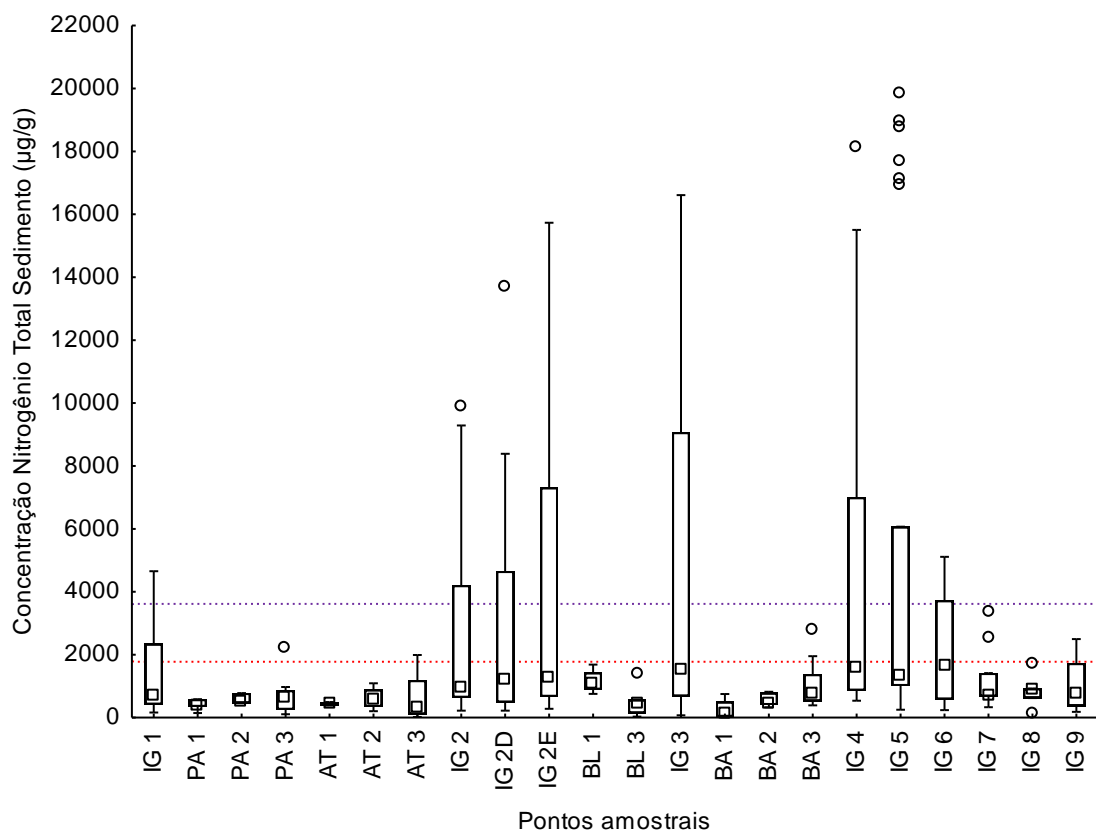


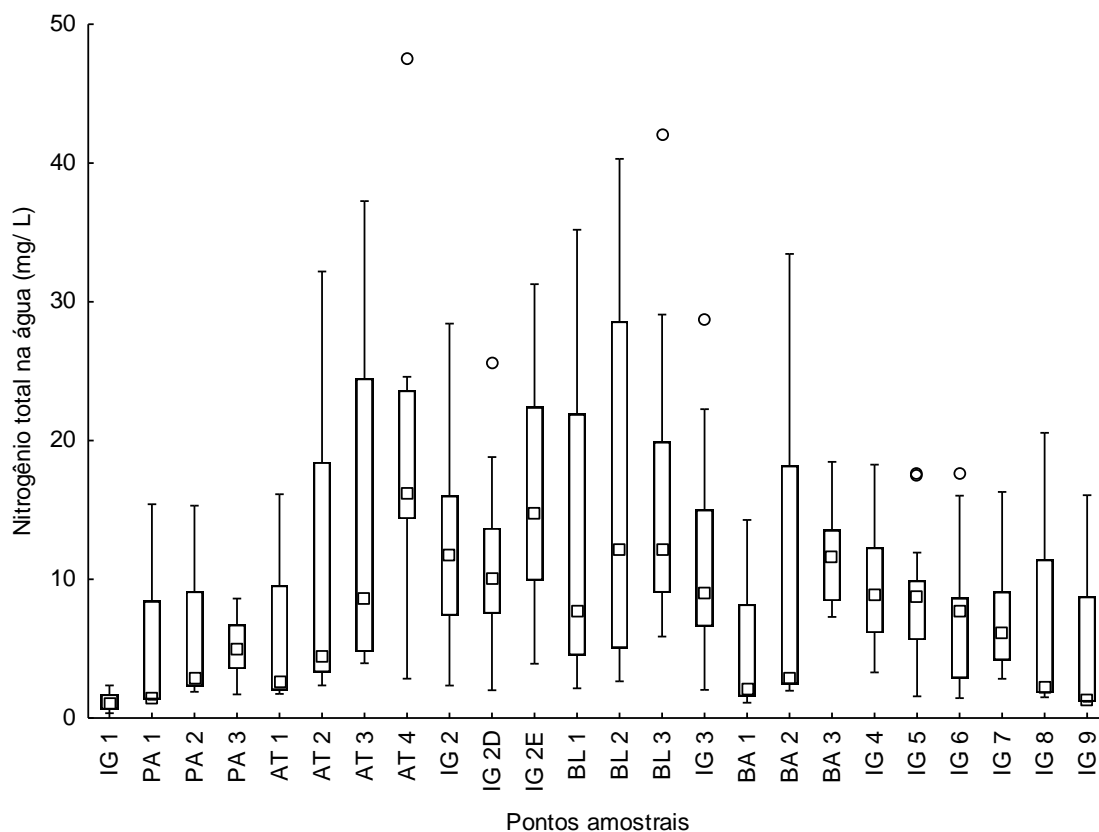
**FIGURA 42 - GRÁFICOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA EM ORDEM CRESCENTE PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NT NO SEDIMENTO: A) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, B) FREQUENCIAS DE OCORRÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS**

Todas as concentrações medianas de NT são classificadas como boa, de forma geral os afluentes estão todos classificados nessa faixa (FIGURA 43). As dispersões e discrepância entre os mínimos e máximos são evidentes apenas para os pontos localizados no rio Iguaçu. Sendo assim, alguns pontos que apresentam medianas e mínimos abaixo do limite de 1.800 ug/g podem ser classificados como ruim e/ou péssimo. O IG4, novamente, reflete as características de reter compostos poluentes devido à sua composição granulométrica de partículas finas. Em contrapartida o IG2D, classificado como arenoso (histograma no apêndice), apresenta a concentração do terceiro quartil acima do limite estabelecido para a classificação péssima. Tanto para os pontos IG2D, como para o IG4, as concentrações elevadas de NT no sedimento são resultantes do aporte externo, decorrente do uso e ocupação do solo. Comparando os mesmos pontos citados anteriormenete com a análise do NT na água (FIGURA 44), pode-se constatar que não parece haver relação direta entre as concentrações na água e no sedimento, já que na água os afluentes apresentam valores similares ou superiores ao rio Iguaçu.

Outra hipótese é que o aporte de poluentes na água pode não ser percebido nas amostras de sedimento na mesma seção. Exemplos disso são o BL1 com altas concentrações na água e baixas no sedimento e, o IG1 com baixas concentrações na água e sedimento podendo ser classificado nas três diferentes faixas de qualidade. Para NT a localização espacial dos pontos amostrais parece não influenciar de forma tão clara as concentrações no sedimento como o que foi observado para a análise de FT.

**FIGURA 43 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NT NO SEDIMENTO**

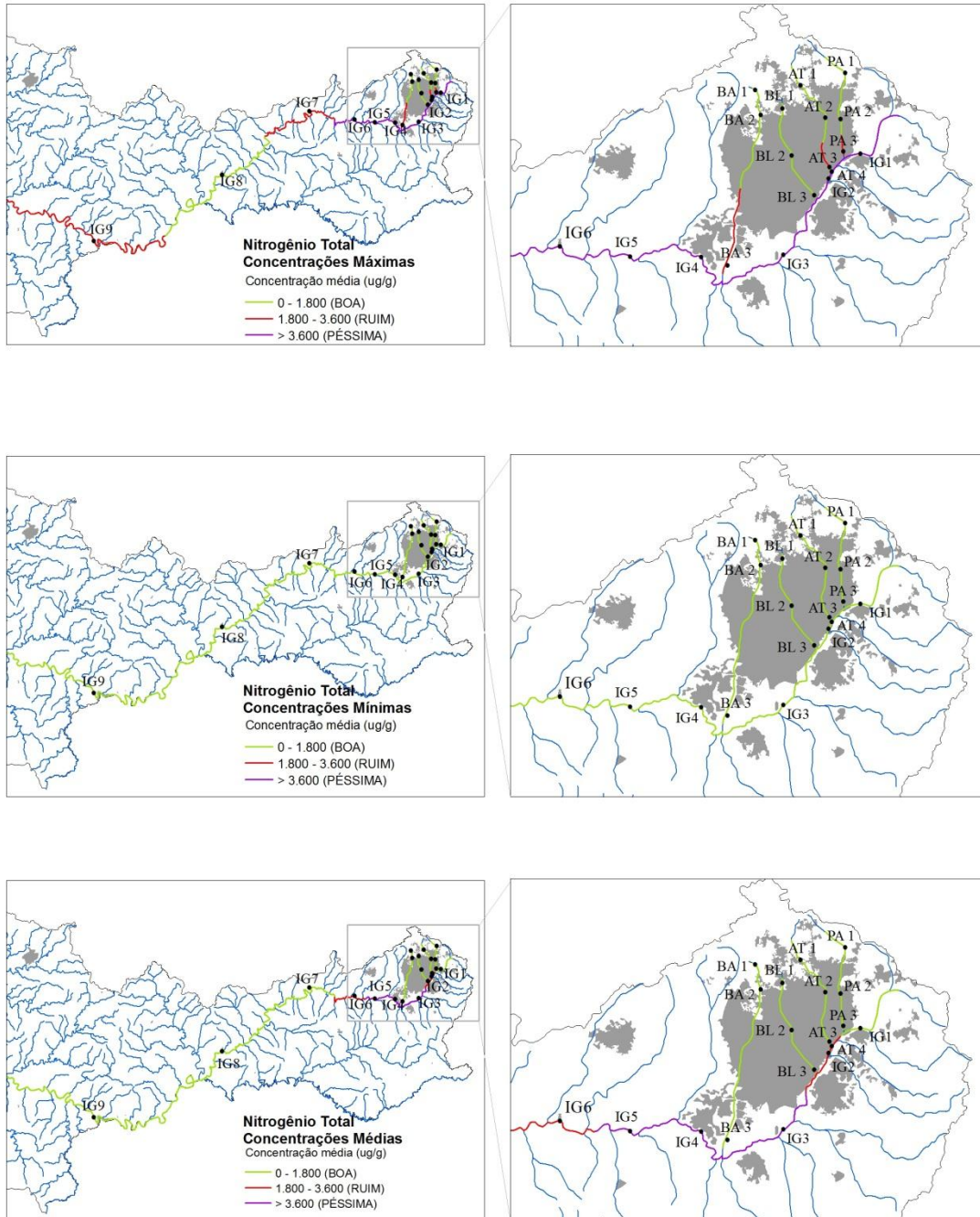




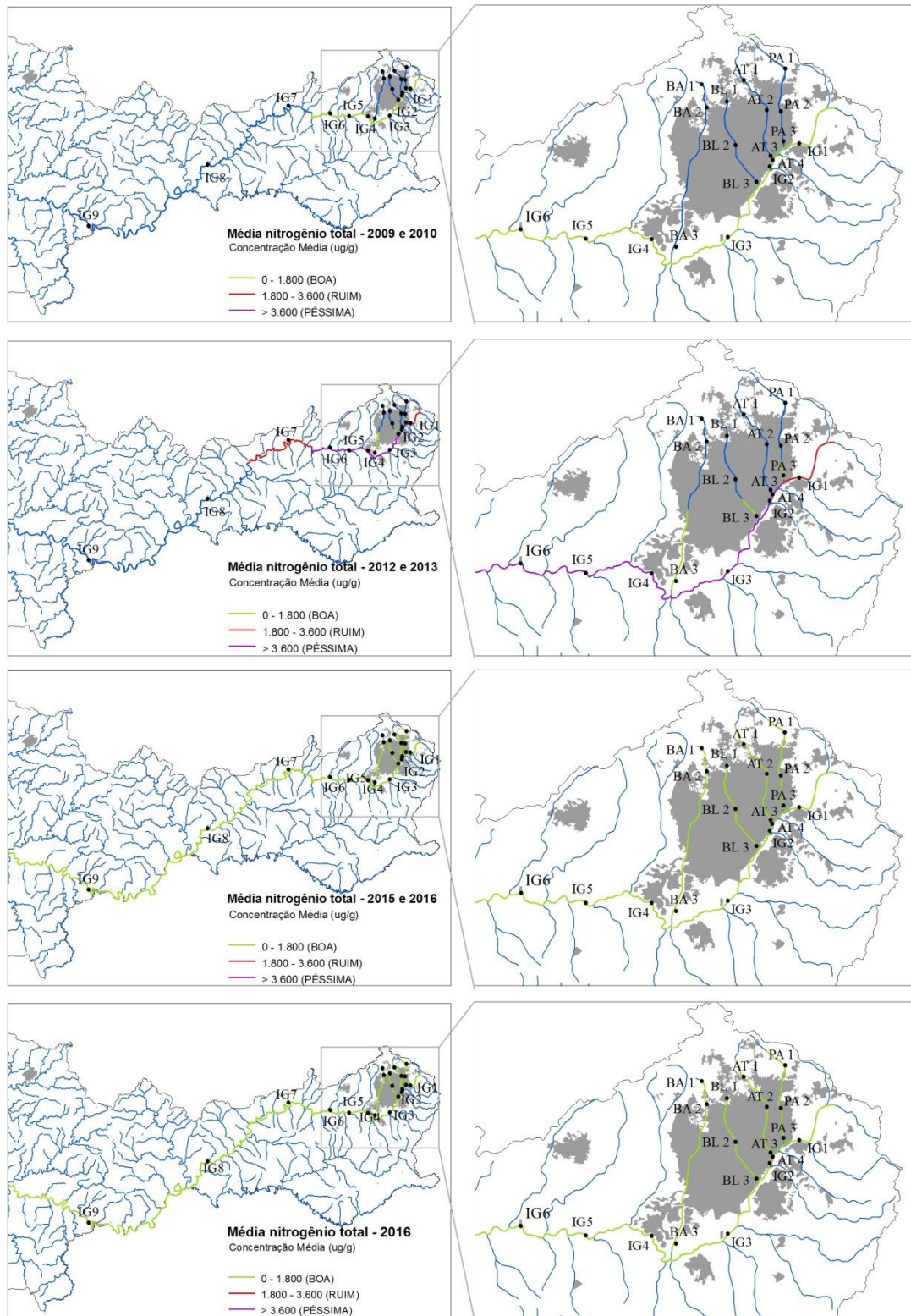
**FIGURA 44 - BOX PLOT PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NT NA ÁGUA**

#### 4.4.2 Mapas para NT no sedimento

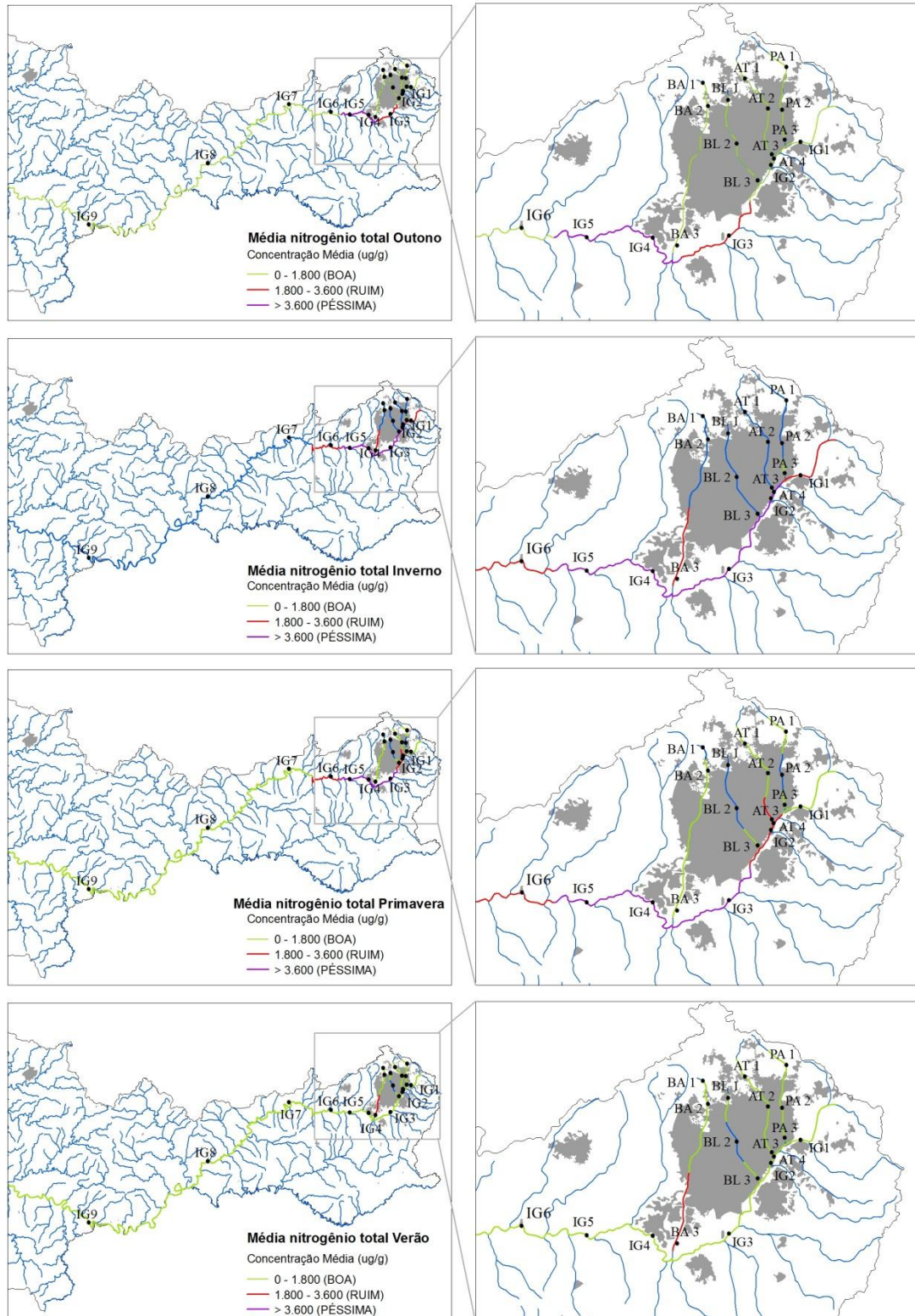
Novamente foram gerados mapas de classificação de NT, apresentados nas FIGURA 45, FIGURA 46 e FIGURA 47. As combinações apresentadas para os mapas de NT mostram que, independentemente da combinação realizada para os dados, fica evidente: 1) os afluentes não recebem um aporte tão grande de NT, só ficam fora da classificação boa no trecho de BA3 (no verão e no inverno) e para AT3 e AT4 (na primavera); 2) os trechos do rio Iguazu apresentam variabilidade de classificação nas combinações de estações do ano, principalmente para os trechos de IG1 a IG7. De forma geral, as concentrações mais críticas, que classificam os trechos como RUIM e PÉSSIMA, são observadas no inverno e primavera.



**FIGURA 45 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE NT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E MÉDIOS OBSERVADOS DENTRE AS 25 CAMPANHAS**



**FIGURA 46 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE NT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES AGRUPADOS PARA AS MÉDIAS DAS CAMPANHAS DE DOIS ANOS**



**FIGURA 47 - MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE NT NO SEDIMENTO POR TRECHOS, SENDO APRESENTADOS OS VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NAS ESTAÇÕES DO ANO**

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, as granulometrias e parâmetros analisados confirmam o padrão esperado de que partículas finas apresentam os maiores valores de FT, NT e MO no sedimento. As exceções referentes a pontos de granulometrias grossas e altas concentrações podem indicar um intenso aporte de poluentes que conseguem se agregar mesmo à grãos de areia. Em contrapartida, pontos como o IG1, composto por silte e argila, apresentam concentrações consideráveis dos parâmetros químicos, porém, neste caso os resultados indicam um aporte proveniente de fontes naturais.

Tanto para os *box plot* dos parâmetros na água e no sedimento é possível verificar que há variabilidade dos dados e, além disso, alguns pontos apresentam as maiores concentrações tanto no meio líquido como no sedimento. Porém, uma análise em termos das mesmas escalas, ou seja, com os mesmos números de n amostrais deve ser aplicada tanto na montagem dos mapas como dos *box plot* a fim de normalizar as análises.

Os resultados obtidos corroboram o que já havia sido constatado para o rio Iguaçu por Dombroski, Fernandes & Siqueira (2012) pois os parâmetros sofrem a interferência urbano-industrial, visto que as concentrações variam de acordo com a localização espacial das estações monitoradas nos diferentes trechos do rio Iguaçu. Essa hipótese da relação existente entre uso do solo e aporte de poluentes no sedimento se evidencia através da visualização dos mapas. Trechos que cruzam ou que estão completamente inseridos em áreas urbanas recebem poluentes proveniente dessas regiões.

O estabelecimento de faixas de classificação para as variáveis no sedimento e, a apresentação desses dados em mapas se mostrou uma ferramenta de fácil entendimento e identificação de trechos críticos. Sendo esta uma forma de selecionar áreas e seções que merecem mais atenção e estudos mais aprofundados. É interessante e necessário que as vazões possam ser incluídas e consideradas juntamente com os parâmetros de qualidade, sendo possível assim identificar com precisão os trechos realmente críticos. Porém, para avaliar e comparar os resultados obtidos com as faixas de classificação propostas neste trabalho, sugere-se realizar uma análise de sensibilidade utilizando as faixas

estipuladas pela OMEE (FLETCHER; WELSH & FLETCHER, 2008) . Apesar dos limites máximos delimitados serem mais restritivos que os estabelecidos pela OMEE, as faixas intermediárias são menos restritivas nesta classificação do que da OMEE.

Faz-se necessário um maior aprofundamento dos dados obtidos neste trabalho a fim de compreender: a variabilidade de alguns resultados de qualidade do sedimento; as relações e trocas existente entre a água e o sedimento; os mecanismos de transporte e disponibilização dos poluentes nas seções estudadas e por fim para compreender a relação entre o tipo do solo, o uso e ocupação com a qualidade observada na água e no sedimento. Entretanto, pode-se destacar que a análise iniciada com esse trabalho mostra que é possível avaliar a qualidade de rios urbanos ao utilizar resultados físico-químicos do sedimento atrelados à ferramentas de SIG.

Com a base de dados de água e sedimento já disponível para a bacia do alto e médio Iguaçu será possível realizar análises mais aprofundadas sobre as correlações existentes entre os parâmetros nesses dois meios. Uma possibilidade é a de se estudar as relações entre C:N:P ou então, classificar os trechos de acordo com o enquadramento da água, considerando as faixas de classificação estabelecidas na Resolução CONAMA n. 357/2005 (BRASIL, 2005). Adicionalmente, podem ainda ser estabelecidas faixas intermediárias de classificação do sedimento além das três propostas neste trabalho (boa, ruim e péssima), melhorando assim a sensibilidade das classificações.

Algumas considerações podem ser feitas sobre o monitoramento dos sedimentos, para esta e outras bacias urbanas. A seleção dos pontos de monitoramento bem como os parâmetros de interesse a serem avaliados nos sedimentos precisam estar de acordo com os objetivos pretendidos. Os pontos selecionados devem então ser amostrados inicialmente com uma frequência anual que possibilite verificar as interferências sazonais. Para os pontos que se observem variações da qualidade dos sedimentos coletados, a frequência de coleta e análise deve ser diferenciada daqueles com características bem definidas e estáveis ao longo do tempo. Assim é possível identificar e destacar pontos de monitoramento que necessitam maior foco e investimento, visando analisar com maior frequência sedimentos com alta variabilidade. O estabelecimento de critérios para a escolha dos pontos e frequência de amostragem possibilita que os recursos sejam melhor

destinados. Focando nos pontos amostrais mais interessantes para o estudo de qualidade do sedimento é possivelmente inserir outros parâmetros de qualidade do sedimento que permitam a classificação segundo os padrões canadenses.

Finalmente, são elencadas algumas sugestões para melhorar a aquisição de dados e aprofundamento de estudos de sedimento. Além das premissas iniciais sobre a escolha dos pontos e frequência de coleta, as amostragens precisam ser padronizadas tanto em termos dos locais (visando o centro da seção e evitando pontos sobre pontes); da forma de amostragem (estabelecendo uma área de interesse em cada seção estudada onde possa ser coletada amostra composta de sedimento que caracterize com maior confiabilidade o ponto estudado) e, da aquisição de outros parâmetros que possam auxiliar no aprofundamento sobre a relação dos parâmetros na água e no sedimento (isso pode ser feito através da análise do pH, potencial redox e OD no sedimento bem como com análises de anotações sobre a condição do sedimento no momento da coleta).

Com isso, este trabalho contribui para um melhor entendimento das variáveis que interferem na qualidade da água bem como fornece direções para futuros estudos de qualidade do sedimento.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e solos: NBR 6502**. Rio de Janeiro: 1995.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUAS (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2013. 264 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal qualidade das águas. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/default.aspx> . Data de acesso: 15 de set. 2015.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUAS. (2016a) . Base de dados arquivos shapes. Disponível em : <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 04 de abr.2015.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUAS. (2016b) . Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.aspx> . Acesso em : 05 de abr. 2015.

ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water research*, v. 10, n. 4, p. 329-331, 1976.

ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; RODRIGUES, E. M.; ANDREOLI, F. D. N. (1999). Os mananciais de abastecimento do sistema integrado da região metropolitana de Curitiba – RMC. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/V12/Mananciais/mananciais.html> . Acesso em: 20 de dez.2016.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION ; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: APHA, 1998.

ARCGIS DESKTOP. Versão 10. ESRI - Environmental Systems Research Institute, 2011.

BEVILACQUA, J. E. *Estudos sobre a Caracterização e Estabilidade de Amostras de Sedimentos do Rio Tietê, SP*. 1996. 171 f. Tese (Doutorado em química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

BI, X.; LIANG, S.; LI, X. A novel in situ method for sampling urban soil dust: Particle size distribution, trace metal concentrations, and stable lead isotopes. *Environmental Pollution*, v. 177, p. 48 - 57. 2013.

BITENCOURT, C.C.A.; FERNANDES, C.V.S. Uma análise distinta para o enquadramento de corpos hídricos urbanos: estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH, 21., 2015. Brasília. *Anais...* São Paulo: ABRH, 2015. p.1-8.

BRAGA, B. *et al. Introdução à Engenharia Ambiental*. 1ª ed. São Paulo: Pratices Hall, 2002. v.1.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 09 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

BRASIL. Decreto Lei nº 2.612, de 03 de junho de 1998. Regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 jul. 2000.

CARERE, M.; DULIO, V.; HANKE, G.; POLESELLO, S. Guidance for sediment and biota monitoring under the common implementation strategy for the water framework directive. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 36, p. 15-24, 2012.

CARMO, D. L. Quantificação e fator de conversão de carbono em matéria orgânica para resíduos orgânicos. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CARVALHO, N. O. *et al Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 2000. 154 p.

CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. *Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canadá: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999. 35 p.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB, 2011. 326 P.

CETESB - Companhia Estadual do estado de São Paulo (São Paulo). **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015**. 1, ed. São Paulo : CETESB, 2016.

CHAMLEY, H. *Clay Sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 625 p.

CHAPMAN, P. M. Presentation and interpretation of sediment quality triad data. *Ecotoxicology*, v. 5, n. 5, p. 327-339, 1996.

CHAPMAN, P. M. The sediment quality triad approach to determining pollution-induced degradation. *Science of the Total Environment*, v. 97, p. 815-825, 1990.

CHURCH, M., 1996, Channel Morphology and Typology: in, Petts, G., and Calow, P., editors, River Flows and Channel Forms, Blackwell Sciences LTD., Oxford, p. 185-202.

CERH/PR – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Paraná). Resolução n. 49, de 20 de dezembro de 2006.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 dez. 2003. Seção 1, p. 142.

COALIAR - COMITÊ DAS BACIAS DO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO ALTO RIBEIRA (Paraná). Resolução nº 04, de 11 de julho de 2013.

COLLISCHONN, W; TASSI, R. *Introduzindo hidrologia*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, 2008. 149 p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Seção 53, p. 58-63.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 nov. 2012. Seção 1, p. 66.

DAVIES, B. E. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal*, v. 38, p. 347-353, 1974.

DE ALMEIDA, G. C. P. *Caracterização física e classificação dos solos*. 1ª ed . Juíz de Fora: UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - FACULDADE DE ENGENHARIA - DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES, 2005, v.1 .

DINIZ, L. T.; YAZAKI; L. F. O.; MORAES, J.; PORTO, M. O enquadramento de cursos d'água na legislação brasileira. In. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE - , 1, 2006. *Anais...*Curitiba: ABRH , 2006. p. 1-19.

DOMBROSKI, L.F.; FERNANDES, C.V.S.; SIQUEIRA, M. Monitoring the Behavior and Distribution of Particle Size, Organic Carbon, Nutrients and Metals in Bottom Sediments of Theiguassu River: Implication for Sediment Quality Data. In: POLETO, C.; PLETSCH ,A. L.;MELLO, E. L.; CARVALHO, N. O. (Org.). *X ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos: artigos selecionados*. Porto Alegre: ABRH, 2012, p. 314-330.

EC - EUROPEAN COMMISSION. *Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document n. 25 Guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2010. 74 p.

ENCA – ENCONTRO NACIONAL DE COLEGIADOS AMBIENTAIS. Participação para a sustentabilidade sócio ambiental. Brasília – DF. Ministério do Meio Ambiente, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: 2. ed, 1997. 212 p.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 826 p.

FALHEIRO, P.F.; ABUCHACRA, R. C.; PACHECO, C. E.; FIGUEIREDO, A. G. J.; VASCONCELOS, S.C. Comparação de diferentes métodos de preparação de amostras de sedimento para granulometria a laser. In. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, 13, 2011. Búzios. *Anais...São Paulo*, 2011.

FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R.; PORTO, M. F. A., *et al.* *INTEGRA 2: Bases Técnicas para a Integração de Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu e da bacia do Alto Tietê*. Relatório Parcial n. 01. Curitiba, 2014. 39 p.

FILHO, E. P. *A geomorfologia e o manejo do ecossistema*. Florianópolis: Geosul, 1996. v. 1.

FLETCHER, R.; WELSH, P.; FLETCHER, T. Guidelines for identifying, assessing and managing contaminated sediments in Ontario: an integrated approach. Standards Development Branch, Ontario Ministry of Environment, 2008.

FORMIGONI, Y. *et al.* Análise crítica da curva de permanência de qualidade da água com base em dados históricos In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH, 19., 2001. Maceió. *Anais...São Paulo*: ABRH, 2001. p.1-14.

FORTUNATO, R. A. Subsídios à prevenção e controle das inundações urbanas: bacia hidrográfica do rio Belém, Município de Curitiba-PR. 2006. 237 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

FREIRE, C.C.; OMENA, S.P.F. 2005. *Curso de aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos, modalidade à distância: Princípios de hidrologia ambiental*. Disponível em: [http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais\\_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf](http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf) . Data de acesso: 26 de out. 2015.

FROEHNER, S. *et al.* Estimation of bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 9, n. 3, p. 409-416, 2012.

GOULART, M. D.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.

GRIFFIN, J.J.; WINDOM, H.; GOLDBERG, E.D. The distribution of clay minerals in the World Ocean. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, v. 15, n. 4, p. 433-459, 1968.

GULLIVER, J. S.; ERICKSON A.J.; WEISS P.T. *Stormwater Treatment: Assessment and Maintenance*. Minneapolis: University of Minnesota, 2010.

HEINRICH, A. B. Avaliação prévia de contaminantes químicos para decisão de destinação de sedimentos do desassoreamento do Rio Belém. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ITCG – INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. (2002). Disponível em : <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9#> . Acesso em: 05 de jul. 2016.

JUNAKOVA, N.; BALINTOVA, M.; PETRILAKOVA, A. Study of particle granularity impact on nutrient concentration. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, v. 32, p. 2161 – 2166, 2013.

KASICH, J.; TAYLOR, M.; NALLY, S. J. *Sediment Sampling Guide and Methodologies*. 3 ed , 2012. E.U.A.: Ohio - Environmental Protection Agency, 2012. 39 p.

LONG, E. R.; CHAPMAN, P. M. A sediment quality triad: measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition in Puget Sound. *Marine Pollution Bulletin*, v. 16, n. 10, p. 405-415,1985.

MARTINS, R. F.; FROEHNER, S. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. *Química Nova*, v. 38, p. 2010-2020, 2008

MMA; ANA; PNUMA. **GEO Brasil Recursos hídricos: Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. 1, ed. Brasília: MMA e ANA. 2007. p.60.

MOTA, S. *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2ª ed .Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200 p.

NASCIMENTO, M. R.; MOZETO, A. A. Reference values for metals and metalloids concentrations in bottom sediments of Tiete River basin, Southeast of Brazil. *Soil & Sediment Contamination*, v. 17, n. 3, p. 269-278, 2008.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In. SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - SINAGEO , 6, Goiânia. *Anais...* UGB: 2006. p. 1- 10.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. 2012. *Rio + 20: Fatos sobre água e saneamento*. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/agua.pdf> Data de acesso: 14 de set. 2015.

PARANÁ. Lei nº 12.726, de 26 de novembro de 1999 . Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 5626 de 26 nov. 1999.

PAULINO, H. B.; COSTA, E. T. *Aplicativo para celular: Triângulo Textural*. (2012) Disponível em: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agro.textura&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agro.textura&hl=pt_BR) Acesso em: 6 de ago. 2016.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22 nº 63, p. 43 – 60, 2008.

PRIBYL, D.W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, v. 156, n. 3, p. 75-83, 2010.

ROSA, A.; SCETTINI, C.; FARIA, M. C. V.; ROMANO, R. G. Análise de impactos ambientais decorrentes da urbanização – Pinhais/Paraná. In. SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - SIBESA, 12, Natal. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2014. p. 1 – 12.

SEMA – SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO PARANÁ; IAP – INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ . **Elaboração do plano estadual de Recursos Hídricos : Produto 1.1 : Diagnóstico das demandas e disponibilidades hídricas superficiais (Definição do balanço entre Disponibilidades e demandas)**. Curitiba, 2010. 139 p.

SILVA, G. M.; BARBOSA, D. I. ; FORMIGA, K. T. M. Regionalização de vazões médias e mínimas da bacia do médio Iguaçu. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH, 19, 2011. Maceió. *Anais...* São Paulo: ABRH, 2011.

SMART, Miles M.; RADA, Ronald G.; DONNERMEYER, Gary N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. An evaluation and comparison with the Kjeldahl procedure. *Water research*, v. 17, n. 9, p. 1207-1211, 1983.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2004. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/> . Acesso em : 20 de nov. 2016.

STATISTICA . Versão 13 . Dell, 2016.

SUDERHSA – INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. (2007). Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=79> . Acesso em: 07 de jun. 2016.

TUCCI, C. E. M. 2006. *Águas do Futuro: Usos múltiplos e desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <http://www.rhama.com.br/aprenda.php?idcateg=1&conteudo=413> . Data de acesso: 06 de nov. 2015.

TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil. *Global Water Partnership*, 2004.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I. ; NETTO, O. M. C. Gestão da água no Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* , Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 31 – 43, jul./set. 2000.

VIEIRA, S. *Introdução à bioestatística*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2008. 345 p.

VON SPERLING, M. *Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos* . 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. v. 1.

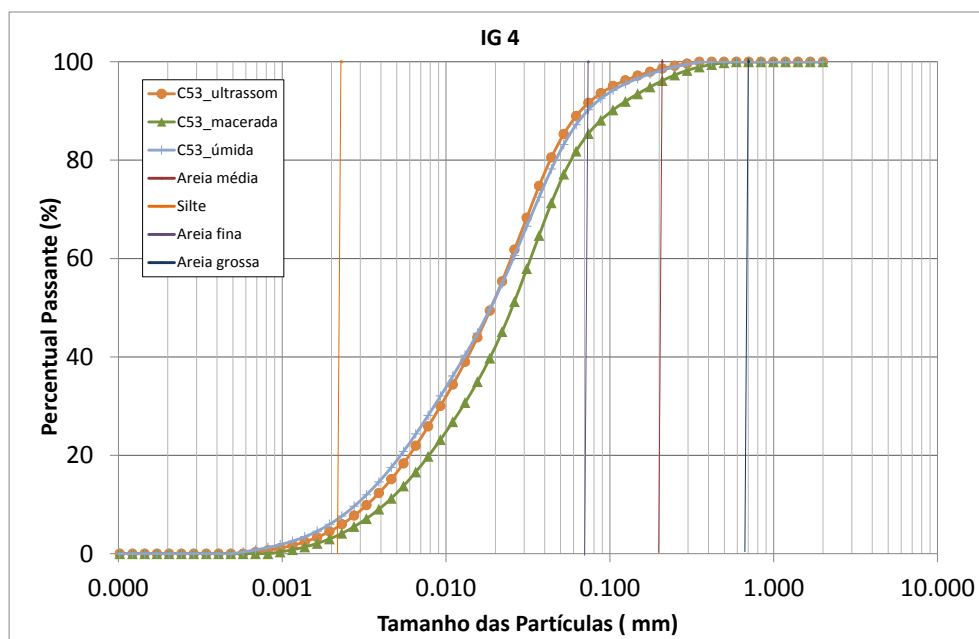
WHITFIELD, J. Vital signs. *Nature*, v. 411, n. 6841, p. 989-990, 2001.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. *Revista de Administração pública*, v. 27, n. 2, p. 5-18, 1993.

## 7 MATERIAL SUPLEMENTAR

### 7.1 TESTE DE DESAGLUTINAÇÃO E PREPARO DAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS

Os resultados dos testes realizados para definir o método de desaglutinação das partículas para as análises granulométricas, mostraram que apesar de não haver diferenças significativas nas granulometrias nos três métodos (FIGURA 48) cabe ressaltar que podem ser obtidos diferentes resultados em caso de sedimentos com partículas distintas ao IG4 (FALHEIRO *et al.*, 2011). O teste para a primeira condição de desaglutinação foi selecionado como o padrão para todas as amostras já que não foram encontradas diferenças significativas nos teste e por ser a forma mais fácil comparada às outras duas.



**FIGURA 48 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PONTO IG4 PARA DIFERENTES MÉTODOS DE DESAGLUTINAÇÃO DAS PARTÍCULAS.**

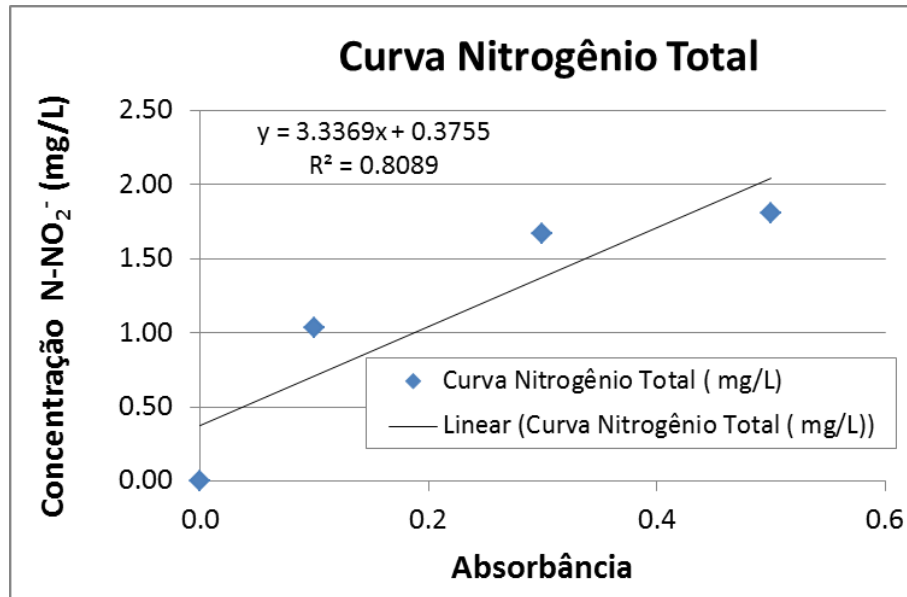
Os percentuais para cada fração (argila, silte e areia) obtidos com as curvas granulométricas deram base para a classificação textural. A TABELA 8 mostra que apenas as amostras maceras geraram resultados de classificação distinto

**TABELA 8 - DADOS REFERENTES ÀS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS TESTES DE DESAGLUTINAÇÃO PARA IG4**

<b>FRAÇÃO</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>TESTE 3</b>
Areia (%)	12.8	18.2	11.0
Silte (%)	81.2	78.8	84.5
Argila (%)	6.0	3.0	4.5
TOTAL (%)	100.0	100.0	100.0
EMBRAPA	siltosa	franca	siltosa

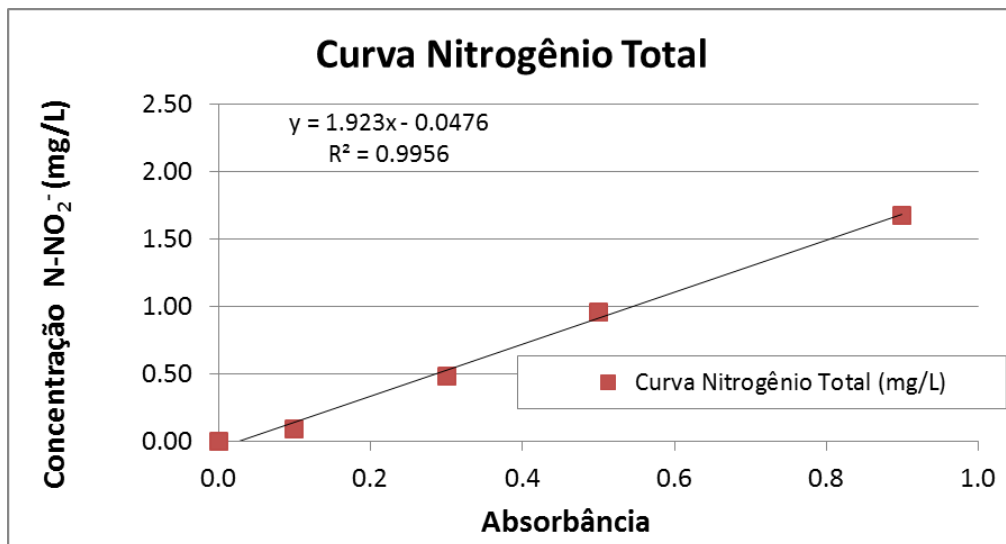
## 7.2 CONSISTÊNCIA DOS RESULTADOS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS NO SEDIMENTO

Ao analisar a base de dados já existente, foram detectados erros nas curvas de calibração para as análises de NT no sedimento. As curvas para as campanhas de C39 a C41 foram obtidas com quatro pontos e geraram um coeficiente de regressão linear ( $R^2$ ) menor que 0,99. É indicado que o  $R^2$  seja igual ou superior a 0,99. O resultado da curva gerada de NT na C39 forneceu um  $R^2 = 0.8089$ , a FIGURA 49 mostra que não há relação linear entre os dados.



**FIGURA 49 - CURVA CALIBRAÇÃO PARA NT NA CAMPANHA C39**

Esse erro na curva de calibração foi corrigido utilizando a curva da da C42 (FIGURA 50) que apresetou  $R^2 = 0.9956$ . Essa curva foi utilizada para calcular as concentrações de NT da C39 a C44. O mesmo erro relacionado à curva de calibração foi encontrado na C48, sendo assim foi utilizada a curva da C45.



**FIGURA 50 - CURVA CALIBRAÇÃO PARA NT NA CAMPANHA C42**

Outro destaque nas análises de Nitrogênio total foi a mudança em relação ao método. A partir da campanha 53 passou a ser realizado um branco para cada

diluição das amostras. Gerando um resultado diferente para o branco da curva. Além disso, as curvas de calibração passaram a ser digeridas seguindo o mesmo método adotado para as amostras, o que anteriormente não era realizado. O branco em diluições diferentes produziu os seguintes dados (TABELA 9) para uma das trélicas do ponto IG1 que havia sido diluído 5 vezes na C55. Isso indica que de fato o procedimento de desconto do branco de acordo com as diluições em que foi feito para as amostras é necessário para gerar resultados mais condizentes. :

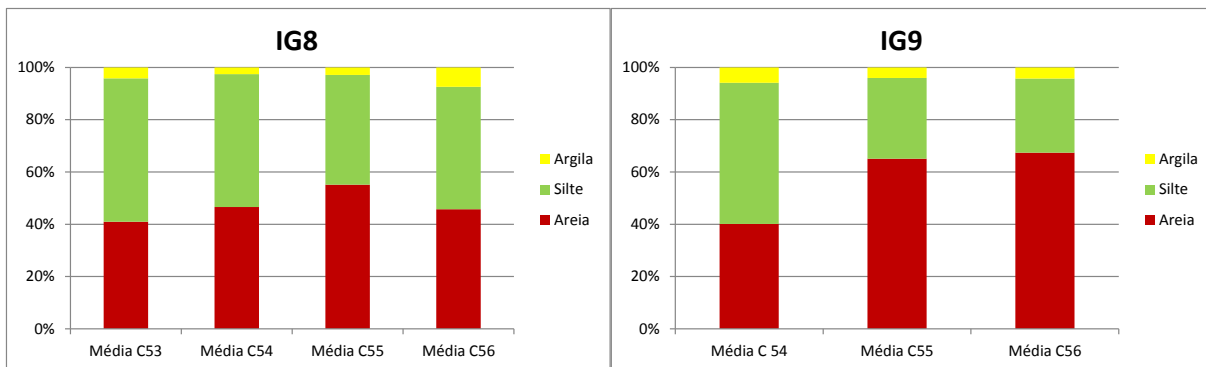
**TABELA 9 – RESULTADOS DAS CONCENTRAÇÕES E ABSORBÂNCIAS PARA DIFERENTES DILUIÇÕES DAS AMOSTRAS DO IG1.**

DILUIÇÃO	ABSORBÂNCIA	CONCENTRAÇÃO
	DO BRANCO	DO IG ( $\mu\text{g/g}$ )
1X	0.2576	282.2
5X	0.1562	386.9
10X	0.0619	497.2

## 7.3 HISTOGRAMAS DE DIVISÃO DAS FRAÇÕES NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

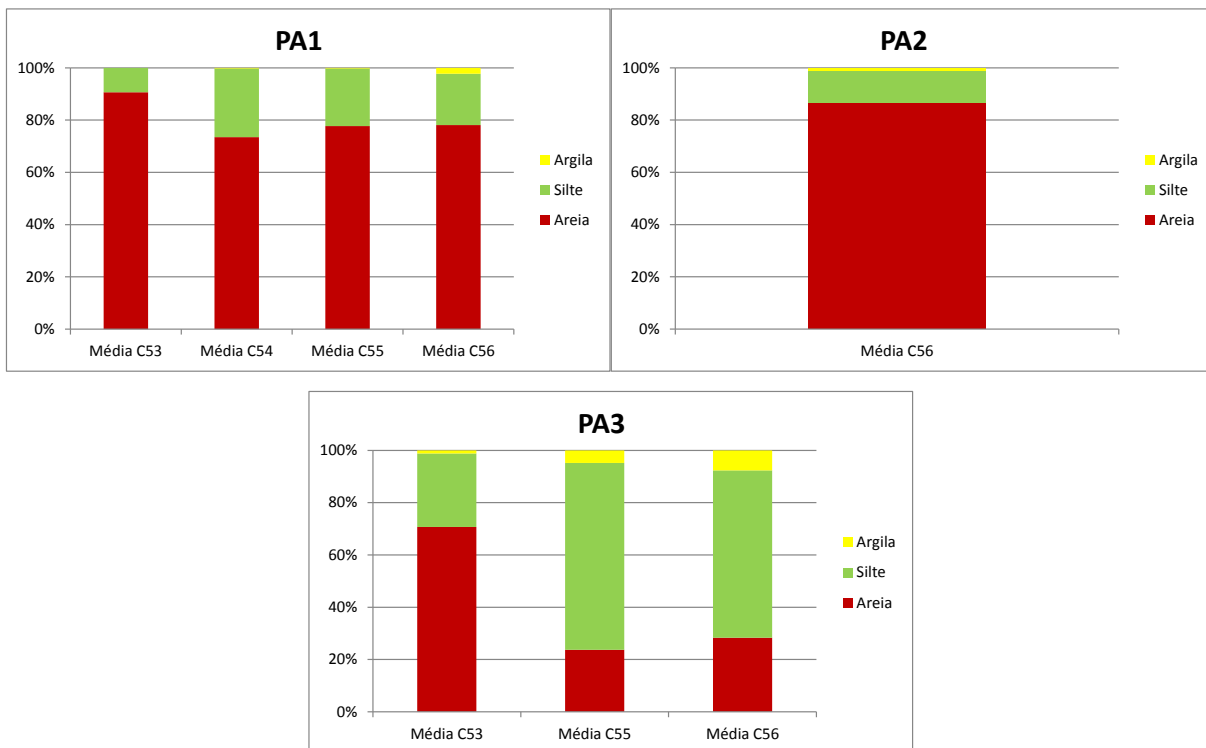
### Rio Iguaçu





**FIGURA 51 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO IGUAÇU**

**Rio Palmital**



**FIGURA 52 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO PALMITAL**

## Rio Atuba

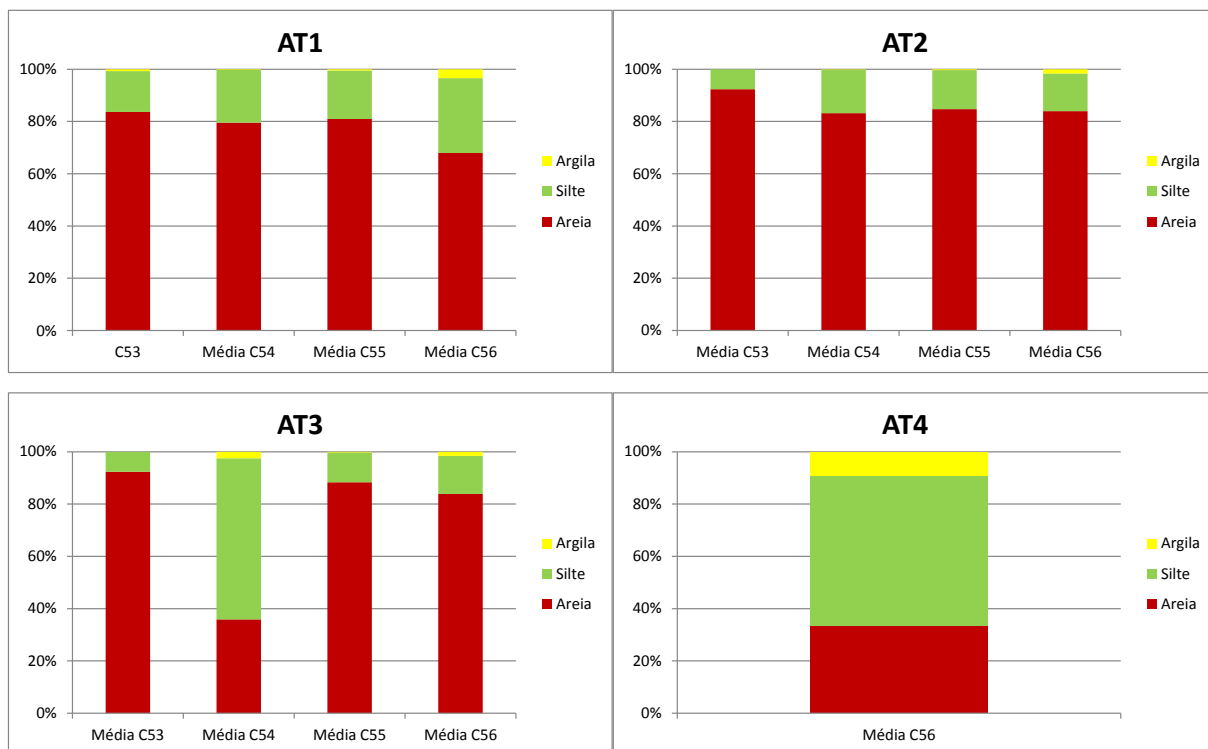
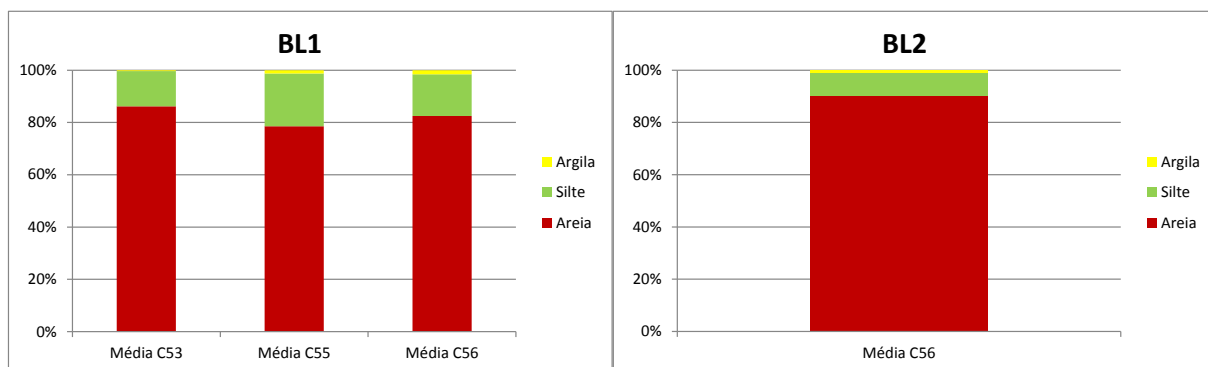
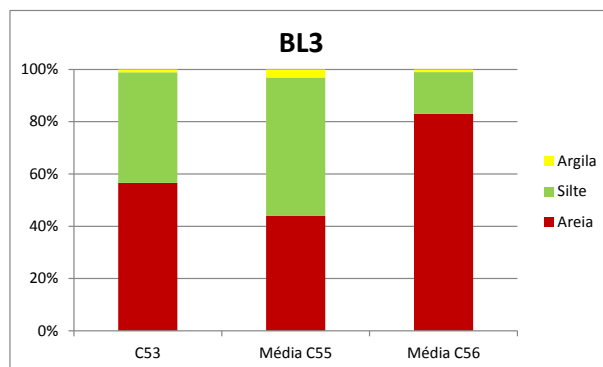


Figura 53 - Histograma de divisão de grãos nas campanhas C53, C54, C55 e C56 para os pontos do rio Atuba

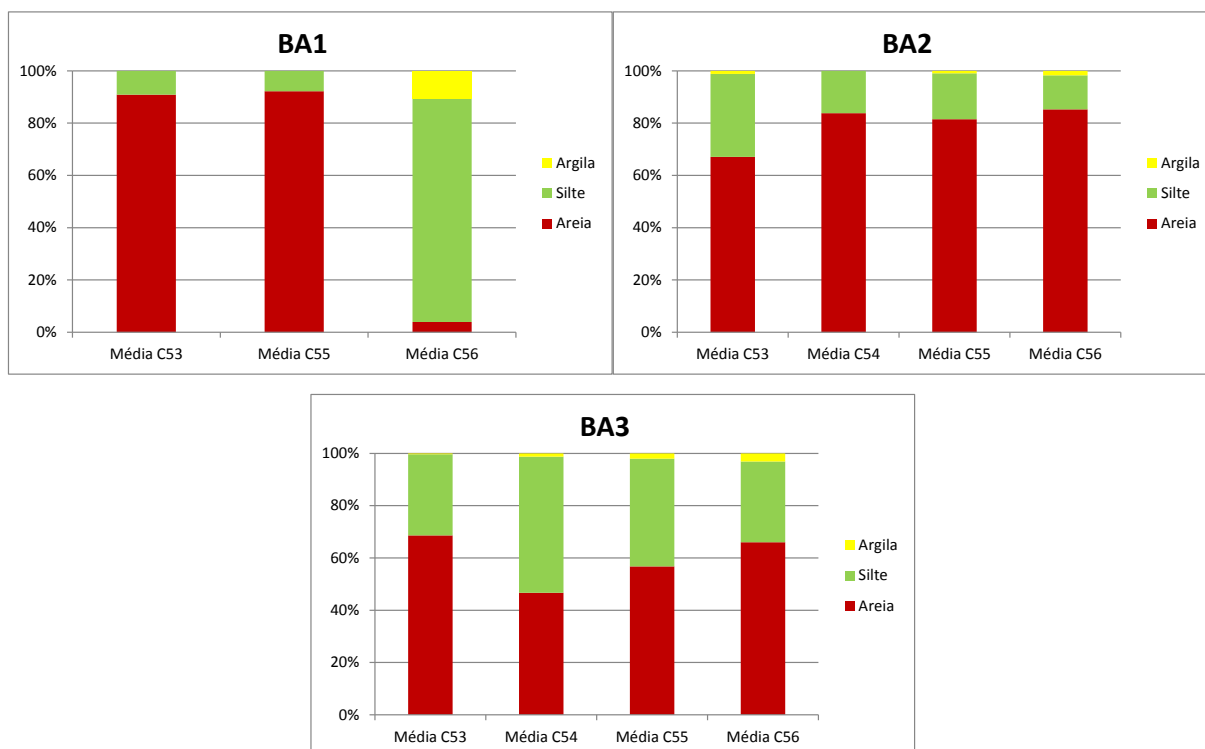
## Rio Belém





**FIGURA 54 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO BELÉM**

### Rio Barigui



**FIGURA 55 - HISTOGRAMA DE DIVISÃO DE GRÃOS NAS CAMPANHAS C53, C54, C55 E C56 PARA OS PONTOS DO RIO BARIGUI**