

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA PISA GRUDZIEN

UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADOR AUTOMÁTICO EXPERIMENTAL PARA A  
IDENTIFICAÇÃO DO APORTE DE POLUENTES NO RIO PASSAÚNA

CURITIBA

2019

JULIANA PISA GRUDZIEN

UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADOR AUTOMÁTICO EXPERIMENTAL PARA A  
IDENTIFICAÇÃO DO APORTE DE POLUENTES NO RIO PASSAÚNA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Michelotto Braga

Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Maria Cristina Borba Braga,  
PhD

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

---

G885u Grudzien, Juliana Pisa  
Utilização de amostrador automático experimental para a  
identificação do aporte de poluentes no rio Passaúna [recurso  
eletrônico] / Juliana Pisa Grudzien – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e  
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Michelotto Braga  
Coorientadora: Profa Maria Cristina Borba Braga

1. Passaúna, Rio (PR). 2. Água - Poluição. 3. Amostrador  
automático (equipamento). I. Universidade Federal do Paraná. II.  
Braga, Sérgio Michelotto. III. Braga, Maria Cristina Borba. IV. Título.

CDD: 628.161

---

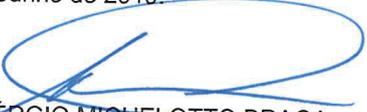
Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

## TERMO DE APROVAÇÃO

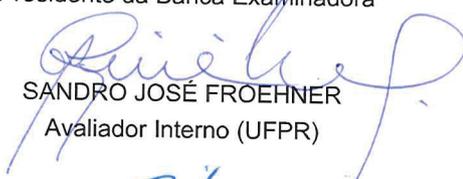
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JULIANA PISA GRUDZIEN**, intitulada: **UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADOR AUTOMÁTICO EXPERIMENTAL PARA A IDENTIFICAÇÃO DO APORTE DE POLUENTES DO RIO PASSAÚNA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 25 de Junho de 2019.



SÉRGIO MICHELOTTO BRAGA  
Presidente da Banca Examinadora



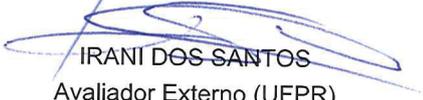
SANDRO JOSÉ FROEHNER  
Avaliador Interno (UFPR)



MARIA CRISTINA BORBA BRAGA  
Coorientador - Avaliador Interno (UFPR)



GUSTAVO RAFAEL COLLERE POSSETTI  
Avaliador Externo (ISAE)



IRANI DOS SANTOS  
Avaliador Externo (UFPR)

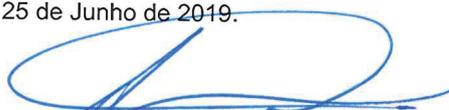
ATA Nº 313

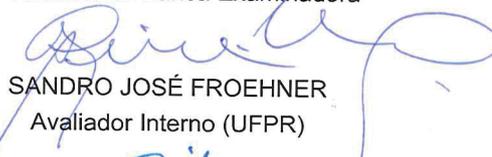
## ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL.

No dia vinte e cinco de junho de dois mil e dezenove às 17 horas, na sala PH 16, Centro Politécnico do Setor de TECNOLOGIA da Universidade Federal do Paraná, foram instalados os trabalhos de arguição da Mestranda **JULIANA PISA GRUDZIEN** para a Defesa Pública de sua Dissertação de Mestrado intitulada: **UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADOR AUTOMÁTICO EXPERIMENTAL PARA A IDENTIFICAÇÃO DO APORTE DE POLUENTES DO RIO PASSAÚNA**. A Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de PósGraduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná, foi constituída pelos seguintes Membros: SÉRGIO MICHELOTTO BRAGA (UFPR), GUSTAVO RAFAEL COLLERE POSSETTI (ISAE), SANDRO JOSÉ FROEHNER (UFPR), IRANI DOS SANTOS (UFPR), MARIA CRISTINA BORBA BRAGA (UFPR). Dando início à sessão, a presidência passou a palavra a(o) discente, para que a mesma expusesse seu trabalho aos presentes. Em seguida, a presidência passou a palavra a cada um dos Examinadores, para suas respectivas arguições. A aluna respondeu a cada um dos arguidores. A presidência retomou a palavra para suas considerações finais. A Banca Examinadora, então, e, após a discussão de suas avaliações, decidiu-se pela Aprovação da aluna. A Mestranda foi convidada a ingressar novamente na sala, bem como os demais assistentes, após o que a presidência fez a leitura do Parecer da Banca Examinadora. A aprovação no rito de defesa deverá ser homologada pelo Colegiado do programa, mediante o atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca dentro dos prazos regimentais do programa. A outorga do título de Mestre está condicionada ao atendimento de todos os requisitos e prazos determinados no regimento do Programa de Pós-Graduação. Nada mais havendo a tratar a presidência deu por encerrada a sessão, da qual eu, **SÉRGIO MICHELOTTO BRAGA**, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora.

Observações: Onbe se lê "do rio Passaúna", leia-se "no rio Passaúna". Sérgio M. Braga, Orientador

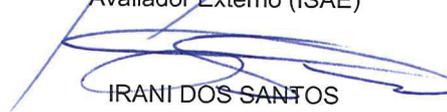
Curitiba, 25 de Junho de 2019.

  
SÉRGIO MICHELOTTO BRAGA  
Presidente da Banca Examinadora

  
SANDRO JOSÉ FROEHNER  
Avaliador Interno (UFPR)

  
MARIA CRISTINA BORBA BRAGA  
Coorientador - Avaliador Interno (UFPR)

  
GUSTAVO RAFAEL COLLERE POSSETTI  
Avaliador Externo (ISAE)

  
IRANI DOS SANTOS  
Avaliador Externo (UFPR)

*Esse trabalho é dedicado aos meus avós, Pedro e Neusa (in memoriam), por todo amor, carinho e empenho que me foram oferecidos e por terem lutado continuamente, em conjunto com meus pais, por minha educação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, Sérgio e Cristina, por todo apoio e dedicação. Esse trabalho não seria possível sem sua crença em meu potencial e capacidade. Agradeço por todas as conversas jogadas fora, todos os conselhos, todo o recurso material, todo o suporte nos momentos mais delicados; por todas as vezes que ouvi que sim, eu conseguiria, mesmo quando eu mesma já não acreditava. Obrigada por me mostrar o valor do trabalho árduo e por não ter pena de quem trabalha, não é mesmo, Cris? Vocês são um exemplo de professores, profissionais, pesquisadores e, ainda mais importante, exemplos de pessoas. O amor de vocês me motiva: um pelo outro, por sua carreira e vocação... seu amor pelas pessoas! Obrigada, obrigada, mil vezes obrigada!

Aos melhores ICs que eu poderia ter, Nikolas e Bruna. Senhor Nikolas, nossos campos, apesar de cansativos, foram pra lá de especiais (e engraçados). Obrigada por me ajudar sempre, por todas as idas ao reservatório, por resolver os meus problemas, ter paciência comigo e, principalmente, por não usar mais fita isolante líquida. Desculpe pelos perrengues, quedas no rio, momentos em que você ficou preso na cerca! Essas lembranças não estão nesse trabalho, mas estarão sempre em minha memória. Bru, querida, você com seu jeitinho meigo deixou o laboratório mais agradável e divertido. Obrigada pela paciência, por ouvir minhas loucuras, por todas as louças lavadas e cones Imhoff preenchidos, por acompanhar os preparativos do casamento e seu contínuo interesse pelo aprendizado. Você mora em meu coração!

Aos meus pais, Julio e Adriana, por todo o suporte nessa vida. Amo vocês do fundo da minha alma. Mãe, sem você eu nada seria! Sua garra e coragem me inspiram todos os dias. Obrigada por ser minha companheira, confidente, ouvinte... minha melhor amiga. Você sabe e eu repito: não vivo sem você. Pai, seu exemplo tange as curvas do meu caminho. Te admiro do fundo do coração. Obrigada por todas as broncas, conselhos, brincadeiras, risadas. Obrigada por ser meu doutor favorito! Julinho, você é o cara!

Ao meu irmão, Pedro, por todo o humor que traz a minha vida. Você colore meu mundo, moleque! Mesmo saindo de casa e deixando meu quarto para você, meu amor estará sempre contigo. Nossa ligação é única e especial: dividimos nossos pais, nossos genes, nossas experiências. Te amo, Pepito.

Ao meu noivo amado (em breve marido!!), David, por todo suporte, toda ajuda, todos os choros e risos. Obrigada por escolher viver a vida comigo, sempre colocando um sorriso em meu rosto... dividindo as dores e os problemas, as alegrias e as realizações. Te escolhi e te escolheria mil vezes! A vida ao seu lado tem mais cores (e mais dans, mestre). Amo você.

Aos meus colegas de caminhada, que alegraram cada um dos meus dias. Obrigada por fazerem a vinda pra UFPR ser uma diversão, com todas as conversas, risadas, cafés, almoços, bolachas cream cracker, conselhos e discussões filosóficas. Alex, Anna, Bru, Iver, Jean, João, Juzona, Michel, Tai... vocês foram uma grande surpresa de Deus. Pessoas incríveis que Ele colocou no meu caminho para torná-lo mais feliz. Entramos colegas em 2017 e hoje saímos mestres, doutores e (o mais importante) grandes amigos.

Aos professores do PPGERHA, por todo conhecimento aprendido nas matérias e até mesmo nos corredores. Especialmente ao professor Cristóvão Fernandes, que, apesar de não ser mais meu orientador, sempre me aconselha e puxa minha orelha. Você possui um lugar especial em meu coração!

À CAPES, pelo suporte financeiro oferecido no decorrer do mestrado.

O meu profundo "muito obrigada"!

*“A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.*

Albert Einstein

## RESUMO

O entendimento da contribuição da poluição por fontes difusas para a degradação da qualidade da água de rios é de grande dificuldade, uma vez que existem limitações na realização da amostragem e, conseqüentemente, na quantificação. Portanto, tornam-se necessários amostradores inteligentes que sejam programados para identificar as mudanças causadas no corpo hídrico e, assim, iniciem a coleta de forma automática, permitindo avaliar a variação da qualidade da água durante eventos de chuva. A determinação das condições operacionais iniciais e a calibração desses equipamentos, bem como a definição dos intervalos entre as coletas é um desafio para a operação, especialmente em bacias cujas informações pretéritas sobre vazão e precipitação sejam escassas. Em função disso, o objetivo fundamental desta pesquisa foi avaliar a viabilidade do uso de um equipamento amostrador automático experimental para a quantificação do aporte de poluentes por via difusa, operado para registrar variações no nível do rio e iniciar a coleta a partir de parâmetros pré-estabelecidos. Para tanto, escolheu-se como objeto de estudo uma seção do rio Passaúna, a montante do reservatório homônimo, localizada na Região Metropolitana de Curitiba. A partir das amostras coletadas foram determinadas as concentrações dos parâmetros: sólidos totais e suspensos, carbono orgânico dissolvido (COD), turbidez e metais totais. Foi possível identificar grande variação na qualidade da água devido a fontes difusas, em especial na ocorrência de precipitações intensas após um longo período de estiagem. A partir da determinação dos parâmetros hidrológicos, tornou-se viável calcular o provável aporte mássico dos parâmetros de interesse, que totalizou, aproximadamente, 1.200 toneladas de sólidos totais e 640 toneladas de sólidos suspensos em oito eventos. Em relação à concentração média dos eventos, foram determinados como valores mais expressivos 400 g/m<sup>3</sup> de sólidos totais e 240 g/m<sup>3</sup> de sólidos suspensos, aproximadamente. Constatou-se, ainda, grande potencial para amostragem do escoamento superficial pelo equipamento experimental utilizado, totalizando mais de 90% no contexto de coletas sem interferências, atestando a viabilidade de sua utilização para a bacia.

**Palavras-chave:** Amostrador automático, poluição difusa, Rio Passaúna.

## ABSTRACT

Limitations related to sampling and quantification of pollutants carried to water bodies by runoff events is a major concern when water quality is under surveillance. Therefore, a need for the development and installation of automated water samplers rises. This is due to the need of an equipment designed to identify changes in the water body related to runoff events, which has in turn to be programmed to collect samples that will enable the evaluation of the resulting quality of water. However, a major challenge is regarded as the determination of initial operating conditions and calibration of the equipment, as well as the definition of sample collection intervals. This is of particular interest mainly when background information on flow rate and rainfall is scarce. As a result of this understanding, the main goal of this research was to evaluate usage feasibility of an automatic sampler designed to collect water samples during rainfall events. This equipment was programmed to register water level variations and to start sampling based on predefined parameters. A section of the Passauna River, upward the namesake reservoir, located at Curitiba's Metropolitan Region, was chosen as a case study. The parameters of interest to carry out this research were total and suspended solids, dissolved organic carbon, turbidity and total metals. It was possible to identify a wide variation in the quality of water due to diffuse sources, in particular during rainfall events after a long dry season. Calculation of probable mass input of the parameters of interest, over the collection of samples from 8 rainfall events, was made possible by the determination of hydrological parameters. The total mass input of total solids was 1,200 tons, approximately, whereas for suspended solids it was calculated a total mass of 640 tons. It is worth mentioning that from the results produced by this research the equipment used presents a great potential to carry out automated sampling of runoff events.

**Keywords:** Automatic sampler, diffuse pollution, Passauna River.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE CURVA DE MASSA POR VOLUME.....	21
FIGURA 2 - HIDROGRAMA TIPO.....	22
FIGURA 3 - AMOSTRAGEM AUTOMÁTICA POR DOIS PARÂMETROS DISTINTOS .....	25
FIGURA 4 - PROCESSOS FÍSICOS E QUÍMICOS DAS PARTÍCULAS TÓXICAS..	33
FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO PASSAÚNA .....	35
FIGURA 6 – APA ESTADUAL DO PASSAÚNA .....	37
FIGURA 7 - IMAGENS DE SATÉLITE DA PORÇÃO MAIS À MONTANTE DA BACIA .....	38
FIGURA 8 - IMAGENS DE SATÉLITE DO INÍCIO DO RESERVATÓRIO .....	40
FIGURA 9 - IMAGENS DE SATÉLITE DA PORÇÃO MAIS À JUSANTE DA BACIA	41
FIGURA 10 - VISUALIZAÇÃO RESUMO DAS FIGURAS 7 A 9 .....	42
FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA NA BACIA DO RIO PASSAÚNA.....	44
FIGURA 12 – AMOSTRADOR AUTOMÁTICO SBN .....	46
FIGURA 13 – ESTRUTURA DE ALVENARIA DISPONIBILIZADA PARA A INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO .....	47
FIGURA 14 - INSTALAÇÃO DA BOMBA E DO SENSOR DE NÍVEL .....	48
FIGURA 15 – ACONDICIONAMENTO DO SBN INSTALADO DENTRO DA PEDREIRA.....	49
FIGURA 16 – COMPONENTES DO SBN .....	50
FIGURA 17 – SEQUÊNCIA LÓGICA DE AMOSTRAGEM DO SBN .....	52
FIGURA 18 – ESQUEMA DO ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS .....	53
FIGURA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS NOS PONTOS P1 E ESTAÇÃO BR- 277 .....	56
FIGURA 20- DIAGRAMA DE RELAÇÃO ENTRE OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS E OS MÉTODOS.....	58
FIGURA 21 – REGISTROS DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO PRIMEIRO EVENTO.....	60
FIGURA 22 - NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E COLETAS REALIZADAS NO PRIMEIRO EVENTO .....	61
FIGURA 23 – OBJETO RETIDO NA VÁLVULA NÚMERO 6 .....	62

FIGURA 24 – AMOSTRAS COLETADAS COM O PRIMEIRO EVENTO.....	62
FIGURA 25 – FILTRO INSTALADO NA ENTRADA DO DISTRIBUIDOR DO SBN ..	63
FIGURA 26 – FILTRO INSTALADO APÓS A PRIMEIRA AMOSTRAGEM .....	64
FIGURA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS EVENTOS DE CHUVA .....	65
FIGURA 28 – FILTRO COM AS MUDANÇAS DESENVOLVIDAS .....	66
FIGURA 29 – NÍVEL DO RIO PASSAÚNA, PRECIPITAÇÃO E COLETAS NO TERCEIRO EVENTO .....	67
FIGURA 30 - ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM NO QUARTO EVENTO .....	68
FIGURA 31 – AMOSTRAS COLETADAS NO QUARTO EVENTO.....	69
FIGURA 32 – AMOSTRAS COLETADAS EM EVENTO DE MENOR INTENSIDADE .....	70
FIGURA 33 – REGISTROS DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO QUINTO EVENTO .....	71
FIGURA 34 – NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO, AMOSTRAS COLETADAS E NÃO COLETADAS NO QUINTO EVENTO.....	72
FIGURA 35 – AMOSTRAS DOS EVENTOS DO DIA 10 E 11/10 .....	73
FIGURA 36 – ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM NO SEXTO EVENTO .....	74
FIGURA 37 – AMOSTRAS 1 A 9 DO SEXTO EVENTO DE CHUVA.....	75
FIGURA 38 – AMOSTRAS 10 A 19 DO SEXTO EVENTO DE CHUVA.....	75
FIGURA 39 – AMOSTRAS COLETADAS NO SEXTO EVENTO .....	75
FIGURA 40 – PONTO P1 DURANTE A RECESSÃO DA CHEIA .....	76
FIGURA 41 – SITUAÇÃO DO RIO DURANTE A CHEIA .....	77
FIGURA 42 – REGISTROS DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO SEXTO EVENTO .....	78
FIGURA 43 – CONSIDERAÇÃO SOBRE POSSÍVEL AMOSTRAGEM COM VARIAÇÃO NO NÍVEL DO RIO DE 15 CM.....	79
FIGURA 44 - ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E COLETAS PARA O SÉTIMO EVENTO .....	80
FIGURA 45 - AMOSTRAS COLETADAS NO SEXTO EVENTO.....	80
FIGURA 46 – ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E COLETAS PARA O OITAVO EVENTO .....	81

FIGURA 47 – ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM PARA O NONO EVENTO .....	82
FIGURA 48 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS DURANTE O PERÍODO DE SECA ..	82
FIGURA 49 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS DURANTE NONO EVENTO .....	83
FIGURA 50 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM DE SÉRIE DE SECA 1 - DOS DIA 23/01 A 04/02.....	84
FIGURA 51 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS COLETADAS PARA A PRIMEIRA SÉRIE DE SECA.....	85
FIGURA 52 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM DE SÉRIE DE SECA DOS DIA 15/02 A 27/02.....	85
FIGURA 53 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS COLETADAS PARA A SEGUNDA SÉRIE DE SECA.....	86
FIGURA 54 – COMPARAÇÃO ENTRE TODOS OS EVENTOS AMOSTRADOS.....	87
FIGURA 55 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NOS EVENTOS .....	93
FIGURA 56 – CURVA DE MASSA POR VAZÃO PARA SÓLIDOS TOTAIS .....	95
FIGURA 57– CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS PARA TODOS OS EVENTOS .....	96
FIGURA 58 – TURBIDEZ EM TODOS OS EVENTOS.....	97
FIGURA 59 – CURVA DE MASSA POR VAZÃO PARA SÓLIDOS SUSPENSOS ..	100
FIGURA 60 – CONCENTRAÇÃO DE COD PARA TODOS OS EVENTOS .....	101
FIGURA 61 – CONCENTRAÇÃO DE FERRO EM TODOS OS EVENTOS.....	103
FIGURA 62 – CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO EM TODOS OS EVENTOS.....	103
FIGURA 63 – CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS PARA TODOS OS EVENTOS	104
FIGURA 64 – CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO PARA TODOS OS EVENTOS.	105
FIGURA 65– CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO EM TODOS OS EVENTOS.....	106
FIGURA 66 - CURVAS DE MASSA POR VOLUME MAGNÉSIO E CÁLCIO.....	107
FIGURA 67 - CURVAS DE MASSA POR VOLUME PARA FERRO E ALUMÍNIO..	108

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – POLUIÇÃO DIFUSA E AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS .....	26
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DOS AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS .....	29
TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAGENS .....	59
TABELA 4 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL NOS OITO EVENTOS .....	89
TABELA 5 – TURBIDEZ SUPERIOR AO PERMITIDO PELO CONAMA (2005).....	97
TABELA 6 – TURBIDEZ SUPERIOR AO PERMITIDO PELO CONAMA (2005).....	98
TABELA 7 – CONCENTRAÇÕES DE MANGANÊS SUPERIORES ÀS PERMITIDAS POR CONAMA (2005) .....	104
TABELA 8 - EVENT MEAN CONCENTRATION .....	109
TABELA 9 – APORTE DE SÓLIDOS TOTAIS, SUSPENSOS E COD AO RESERVATÓRIO.....	114
TABELA 10 – METAIS APORTADOS AO RESERVATÓRIO .....	115

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 Geral.....	18
1.2.2 Específicos .....	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1 APORTES DE POLUENTES POR MECANISMOS DIFUSOS.....	19
2.2.1 Definições relevantes .....	20
2.2.2 Amostradores automáticos.....	23
2.2 IMPORTÂNCIA DO RIO PASSAÚNA PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA.....	29
2.3 ASPECTOS DE CONSERVAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO .....	30
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO PASSAÚNA .....	35
3.2 PONTO DE AMOSTRAGEM.....	43
3.2.1 Estação pluviométrica .....	44
3.3 EQUIPAMENTO DE AMOSTRAGEM AUTOMÁTICA.....	44
3.3.1 Instalação .....	46
3.3.2 Operação.....	50
3.4 AMOSTRAGEM .....	52
3.5 ANÁLISES DE LABORATÓRIO .....	53
3.5.1 Conjunto de sólidos .....	54
3.5.2 Metais na água.....	54
3.5.4 Carbono orgânico dissolvido na água .....	54
3.6 DETERMINAÇÃO DA CURVA CHAVE.....	55
3.7 DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	57
3.8 DETERMINAÇÃO DO <i>EVENT MEAN CONCENTRATION</i> E DO APORTE PARA O RESERVATÓRIO .....	57
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>

4.1 RESULTADOS DA AMOSTRAGEM .....	59
4.1.1 Primeiro evento .....	60
4.1.2 Segundo evento .....	64
4.1.3 Terceiro evento .....	66
4.1.4 Quarto evento.....	68
4.1.5 Quinto evento .....	70
4.1.6 Sexto evento .....	73
4.1.7 Sétimo evento .....	79
4.1.8 Oitavo evento .....	80
4.1.9 Nono evento .....	81
4.1.10 Séries de seca.....	83
4.1.11 Comparação entre os níveis dos eventos .....	86
4.2 RESULTADOS HIDROLÓGICOS .....	88
4.2.1 Separação do escoamento superficial.....	88
4.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO .....	92
4.3.1 Sólidos totais.....	93
4.3.2 Sólidos suspensos e turbidez.....	95
4.3.3 Carbono orgânico dissolvido e metais.....	101
4.3.4 Estimativa do <i>Event Mean Concentration</i> .....	109
4.3.5 Estimativa do total aportado para o reservatório durante os eventos amostrados .....	114
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>116</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE 1 – CONCENTRAÇÕES DE TODOS OS COMPONENTES POR EVENTO.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 1 – SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÃO FORNECIDA PELO SIH.....</b>	<b>138</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição difusa difere da poluição pontual por não possuir fontes diretas e identificáveis de lançamento. É provocada pelo carreamento decorrente do escoamento superficial – efeito das precipitações de maior intensidade – ou pela lavagem de superfícies impermeabilizadas em precipitações menos intensas. Como consequência, produz importante aporte de poluentes aos rios, que são afetados pelo somatório de pequenas contribuições.

Pela sua própria natureza, a quantificação da poluição difusa exige medição direta nos corpos hídricos e a utilização de métodos sofisticados de amostragem. No caso dos rios, é necessária a coleta de amostras nos momentos em que são afetados pelo escoamento superficial que carrega poluentes.

Para identificação do intervalo correto entre as amostragens, o emprego de amostradores automáticos para coleta da porção difusa é cada vez mais relevante. Contudo, os parâmetros de coleta muitas vezes se limitam às variações de tempo, podendo resultar em eventos não amostrados em sua totalidade. Além disso, a utilização de amostradores comerciais apresenta limitações técnicas de instalação e operação.

Desta forma, Braga (2013) desenvolveu um amostrador experimental visando reduzir essas restrições, oferecendo diversas formas de operação e uma amostragem completamente adaptável à seção a ser utilizada e às condições do rio. Outra contribuição do autor é a possibilidade do emprego de diversos parâmetros de início e intervalo de amostragens, permitindo amostrar eventos de chuva com duração e intensidade distintos.

O desenvolvimento desta pesquisa tem por finalidade avaliar a viabilidade do uso desse amostrador experimental como ferramenta essencial à quantificação do aporte de poluição difusa em rio em bacia rural e cujas águas contribuem para um reservatório de abastecimento público.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Avaliar a viabilidade de uso de equipamento amostrador automático experimental para a quantificação do aporte de poluentes por via difusa.

### 1.2.2 Específicos

Para atingir o objetivo principal desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- a) definir a estratégia de amostragem a ser utilizada pelo SBn no Rio Passaúna;
- b) caracterizar a poluição difusa com análise em laboratório de sólidos, metais e carbono orgânico dissolvido;
- c) determinar o aporte de poluentes por evento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os aspectos teóricos da pesquisa, buscando delimitar os conceitos mais relevantes para a sua realização, estruturando a relação com o tema e identificando o estado da arte relacionado.

### 2.1 APORTES DE POLUENTES POR MECANISMOS DIFUSOS

A poluição difusa caracteriza-se por não possuir fonte imediatamente identificável. Essa forma de poluição, contudo, apresenta efeitos observáveis e passíveis de quantificação. É importante ressaltar que a denotação da poluição como pontual ou difusa depende muito da proporção do estudo. Quando se aumenta a escala da análise das fontes, por exemplo, uma fonte de poluição dita difusa pode acabar sendo caracterizada como pontual (BRAGA, 2013).

Segundo Novotny (1992), existe grande dificuldade para a determinação da correlação da carga poluidora decorrente da poluição difusa com a vazão. O carreamento de poluentes usualmente é associado à lavagem superficial, desta forma está diretamente relacionado com a duração e intensidade do evento de precipitação, além das características da área a ser lavada.

Denota-se, pois, a importância do estudo do uso e ocupação do solo da bacia estudada. Chuvas em bacias agrícolas e com conseqüente manejo de agrotóxicos podem trazer cargas poluentes consideráveis para o corpo hídrico. Do ambiente urbano, por outro lado, as vias impermeabilizadas podem aportar metais, óleos e graxas aos corpos receptores. Das ocupações predominantemente urbanas são geradas cargas poluidoras provenientes de telhados, ruas, sarjetas, entre outros (PITRAT, 2009).

Para estudar esse tipo de fenômeno, ainda é muito disseminada a utilização de amostragens manuais. Contudo, segundo Braga (2013), evidencia-se a importância de amostradores automáticos para a coleta de poluição difusa com base em amostras representativas e coletadas apropriadamente. A aplicação de amostragens automatizadas para coletas visa representar de forma mais efetiva os processos e modificações a que o rio pode estar submetido.

## 2.2.1 Definições relevantes

### 2.2.1.1 Evento

Um fator de extrema relevância para o estudo é a identificação da magnitude da precipitação de interesse. Dessa forma, define-se a conotação do termo *evento* como as condições de precipitação que saturam o solo ou que encontram o solo saturado por eventos anteriores, causando escoamento superficial e carreando poluentes para os corpos hídricos. Outro fator importante é o tempo de duração da chuva que causa o escoamento: chuvas intensas e distribuídas em um intervalo curto de tempo causam interferências maiores no rio.

O entendimento desse conceito é importante no contexto de amostragens automatizadas, uma vez que usualmente os amostradores exigem a definição de parâmetros para iniciar as coletas. Com isso, existe a necessidade de conhecimento da intensidade do evento que se busca coletar, tarefa que pode ser considerada como uma das mais complexas em rios onde se tem pouco ou nenhum dado histórico.

### 2.2.1.2 *First Flush* e curvas de massa por volume

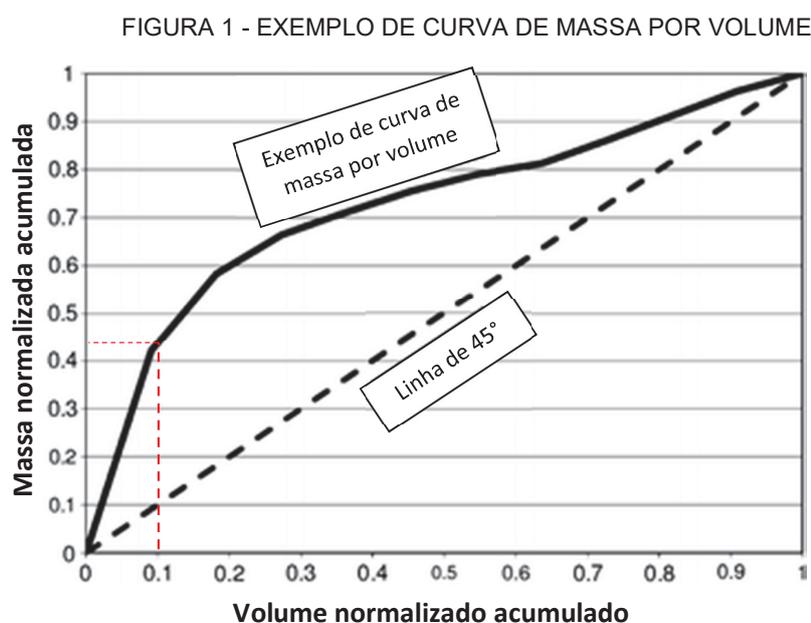
A poluição difusa apresenta variação temporal. Nesse quesito, são dois os fatores a serem considerados: (i) a duração do período de seca anterior ao evento e (ii) o momento de carregamento em relação ao hidrograma de vazão. Essas duas considerações são relevantes quando analisamos o comportamento do transporte de materiais na decorrência do escoamento.

O *first flush* é definido por concentrações muito elevadas no início do evento de chuva e está conectado com às condições anteriores ao início deste evento, podendo ser mais relevante após um prolongado período de seca seguido por precipitações de maior volume (SANSALONE e CRISTINA, 2004). Ainda segundo os autores, o *first flush* tem grande importância para a contribuição de poluentes e seu tratamento é considerado como componente fundamental para reduzir a poluição causada pelo escoamento de água da chuva.

Cheng et al. (2017), por exemplo, buscam a otimização da amostragem da primeira carga de lavagem, o que mostra o quanto sua coleta ainda é difícil. É possível encontrar, também, estudos que, além de coletar, analisam quais as implicações do

*first flush* para os corpos hídricos através de parâmetros como bactérias, sólidos suspensos, nutrientes, carbono orgânico, DBO (HATHAWAY e HUNT, 2011; CHOW e YUSOP, 2014; XU et al., 2016). Segundo Hathaway et al. (2012) e Braga (2013) vários estudos têm concluído que existe presença de *first flush* para sólidos suspensos totais.

Para a verificação da existência de *first flush* utiliza-se a curva de massa por volume, verificando de forma visual se existe uma discrepância entre a distribuição da massa e a distribuição de volume na porção inicial. Essa representação gráfica do transporte mássico de componentes é feita após normalização das vazões e das concentrações e cálculo do total acumulado de massa do componente e da vazão, como mostrado na Figura 1.



FONTE: Adaptado de Hathaway et al. (2012)

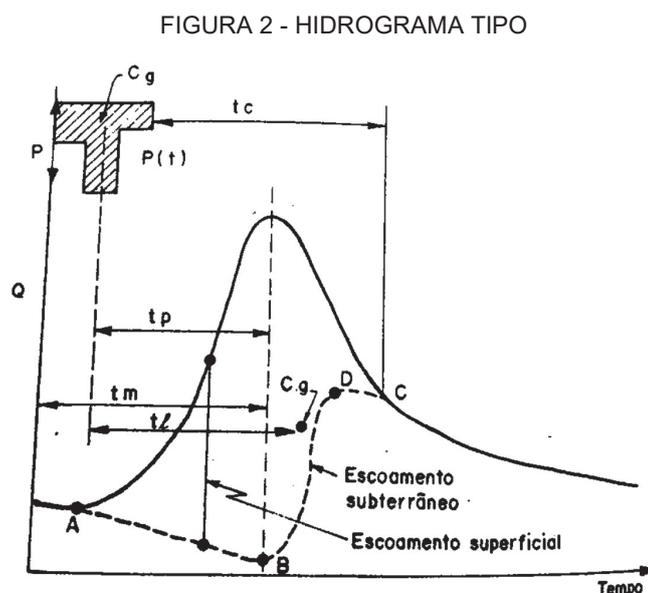
O exemplo ilustrado na Figura 1 mostra que quando 10% da vazão havia escoado mais de 40% de toda a massa do material já havia sido carreado pela seção. Esse tipo de visualização é muito relevante para entendimento dos resultados das análises de laboratório. Por vezes, ao verificar as concentrações encontradas, surge uma grande dificuldade na identificação de suas tendências, que podem ser explicadas por um grande aporte inicial, ou *first flush*.

### 2.2.1.3 Separação do escoamento

A separação de escoamentos também constitui outro ponto importante. Segundo Tucci (2000) os escoamentos no rio são compostos por:

- (i) escoamento superficial, que consiste no fluxo que se desloca sobre a superfície do solo até encontrar uma calha definida;
- (ii) escoamento subsuperficial, que é composto pelos fluxos junto às raízes das plantas e árvores que compõe a cobertura vegetal; e
- (iii) escoamento subterrâneo ou escoamento base, que consiste no fluxo resultante da contribuição do aquífero.

Durante eventos de chuva, soma-se ao escoamento base (ou subterrâneo) do rio o escoamento superficial gerado pela precipitação e pela lavagem dos solos da bacia de entorno. Entender qual parcela de escoamento é relacionada à modificação causada pela chuva tem grande importância quando se busca avaliar a contribuição dos processos difusos na degradação da qualidade da água. Na Figura 2 é apresentado um hidrograma tipo que ilustra as formas de escoamento e sua relação com as precipitações. Vale salientar que, ainda segundo Tucci (2000), o escoamento subsuperficial normalmente acaba sendo calculado conjuntamente com as parcelas referentes ao escoamento subterrâneo ou superficial, o que acaba por desconsiderá-lo dos cálculos.



FONTE: Tucci (2000)

A separação dos escoamentos superficiais dos subterrâneos pode ser realizada a partir de diversos métodos. Os mais simples são os de inspeção visual, nos quais plotam-se as vazões em papéis com escala mono-log, deixando a vazão no eixo logarítmico, determinando-se o início e fim do escoamento.

Como a recessão costuma seguir uma equação exponencial, ao traçá-la na escala log, esta tende a seguir uma linha reta. Quando esta linha reta sofre uma mudança substancial de inclinação, determina-se ali o ponto C, que identifica o fim do escoamento superficial. Para a determinação do início do escoamento existem diversos métodos de cálculo e inspeção visual (TUCCI, 2000).

### 2.2.2 Amostradores automáticos

Amostradores automáticos têm sido utilizados para facilitar a coleta de amostras e ampliar o escopo de estudos sobre poluição em corpos hídricos. Seu uso representa um avanço importante para a quantificação do aporte de poluentes carregados por mecanismos difusos, uma vez que a natureza do fenômeno é aleatória e dificulta a execução de coletas manuais nos momentos mais adequados. Amostragens automáticas têm como vantagem apresentar como resultado um retrato mais fidedigno do comportamento do curso d'água como um todo, sendo comum serem iniciadas a partir de uma variação de nível, seguida por um conjunto de amostras individuais coletadas em intervalos regulares de tempo.

Entretanto, a limitação do número de frascos disponíveis – em sua maioria, amostradores comerciais são oferecidos com capacidade de 24 garrafas individuais - combinada com a aleatoriedade da intensidade e da duração dos eventos representam uma dificuldade significativa a ser superada. Segundo Braga (2013), isso ocorre em virtude dos seguintes fatores:

(i) eventos de curta duração podem ser sub-amostrados se o amostrador estiver configurado para realizar coletas em intervalos de tempo de maior duração;

(ii) eventos de maior duração podem ser sub-amostrados se o amostrador estiver configurado para realizar coletas em intervalos de tempo mais curto, uma vez que esta escolha pode esgotar a capacidade do amostrador antes do final do evento.

Dessa forma, uma alternativa importante é associar medidores de nível ao amostrador, realizando coletas em intervalos regulares de nível ou vazão. Este

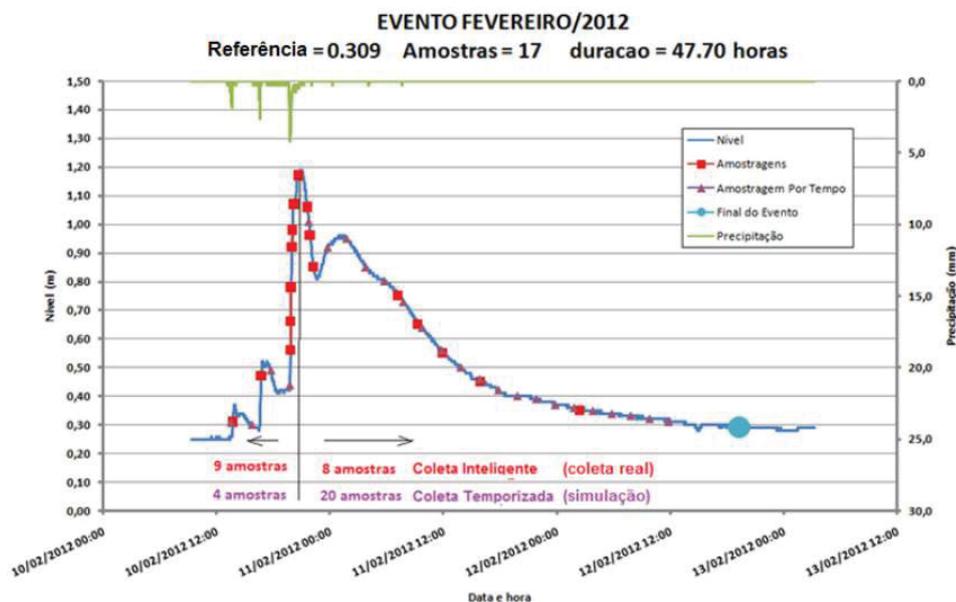
esquema permite melhor distribuição das amostras ao longo dos eventos que se quer amostrar (BRAGA, 2013).

Um exemplo da vantagem deste esquema pode ser observado na Figura 3, que ilustra um evento real estudado por BRAGA (2013), ocorrido em um local no qual vários eventos observados apresentam média de duração de 48 horas. Com base nessa informação, se a amostragem tivesse sido realizada por intervalo de tempo, o amostrador teria sido regulado para efetuar coletas a cada duas horas. Desta forma, seriam coletadas 24 amostras para um evento de duração de 47,7 horas. Entre elas, apenas 4 representariam a elevação do nível do rio e as outras 21 o período de recessão.

Por outro lado, a utilização de variação de nível como gatilho da amostragem, permite uma melhor distribuição das amostras ao longo do evento, pois teriam sido coletadas 9 amostras na elevação de nível e 8 amostras em sua recessão.

Pode-se observar que a amostragem por patamares de nível é mais eficiente, pois o conjunto de 17 garrafas de amostras coletadas são mais bem distribuídas e representativas do que as 24 que seriam utilizadas pela programação em intervalo de tempo. Outras vantagens são a economia do número de frascos utilizados e a possibilidade de continuação da amostragem, uma vez que ainda existem 7 frascos disponíveis no amostrador.

FIGURA 3 - AMOSTRAGEM AUTOMÁTICA POR DOIS PARÂMETROS DISTINTOS



Fonte: Braga (2013)

O uso do amostrador automático apresenta, entretanto, algumas limitações. Como as amostras tendem a ficar maior tempo em campo até que o evento encerre completamente, parâmetros que podem sofrer alterações significativas na concentração em função do tempo, podem perder a representatividade. Coletas automatizadas para análise de parâmetros biológicos, por exemplo, são vistas com certo ceticismo devido ao tempo transcorrido em campo e dificuldade para garantir a assepsia de frascos e distribuidores (Hathaway et al., 2014).

Mesmo com essas restrições, os amostradores automáticos são amplamente utilizados em pesquisas de monitoramento ambiental. Desde 1951, na literatura, é possível obter um volume grande de informação sobre o assunto, mostrando que o tema, apesar de ainda muito atual, é alvo de pesquisas há quase sete décadas. Entretanto, quando a pesquisa bibliográfica é relacionada à poluição difusa, o número de publicações se reduz, sendo datados a partir do início da década de 1990.

Para comparação com o escopo deste trabalho, na Tabela 1 são apresentadas informações sobre autores que tratam dos dois assuntos simultaneamente desde o ano 2000 e as características dos trabalhos publicados.

TABELA 1 – POLUIÇÃO DIFUSA E AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS

(continua)

Referência	Local do estudo	Equipamento de amostragem	Forma de amostragem	Características
Asfaw et al. (2018)	Rio Leam, sub-bacia do Rio Severn, Inglaterra	Não informado	A cada hora durante o evento de chuva e com início disparado manualmente	Modelagem para previsão da mudança temporal de Metaideído proveniente da agricultura nos mananciais de água potável devido a poluição difusa
Oliver et al. (2015)	Stirlingshire, Escócia	ISCO 3700 com refrigeração associado a datalogger CR800	Amostrador disparado manualmente ou a partir da vazão, e coleta por tempo durante o evento de chuva.	Busca estabelecer uma relação do E. Coli com a poluição difusa em uma bacia de pequenas dimensões. Além disso, deseja entender a variação entre amostras automáticas e simples para análises microbianas.
Cooper et al. (2015)	Rio Wensum, Inglaterra	ISCO automatic sampler	Amostrador coleta temporalmente: a cada 30 minutos sem chuva e 15 quando existe precipitação.	Utilização de amostradores automáticos para estabelecer uma escala temporal de contaminação do sedimento através do método “ <i>fingerprinting</i> ”
Cooper et al. (2014)	River Blackwater, Norfolk	ISCO automatic sampler	Amostragem de água a cada uma hora, durante 24 horas, após verificação de precipitação maior que 10,6mm.	Métodos de espectroscopia associados a amostradores automáticos a fim de gerar dados geoquímicos precisos e baratos.
Cruz et al. (2012)	Laguna de Bay, Filipinas	ISCO modelo 3700 automatic sampler	Amostras por período de tempo para representar a poluição durante o dia e durante a semana.	Quantificar a contribuição da agricultura para a poluição difusa.

TABELA 1 – POLUIÇÃO DIFUSA E AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS

Referência	Local do estudo	Equipamento de amostragem	Forma de amostragem	Características
De Girolamo (2012)	Rio Celone, Itália	ISCO 6712FS associado a ISCO 750 Area Velocità Flow Module 750	Amostras entre períodos de chuva para estabelecer as condições normais do rio e durante as chuvas conforme a mudança de vazão.	Avaliar a contribuição da poluição difusa relacionada a agricultura para a poluição do rio Celone, através do estudo de nutrientes.
Chen et al. (2016)	Região das Três Gargantas, China	ISCO modelo 6712	Amostras por período de tempo quando não há chuva e período se altera durante as precipitações.	Quantificar e avaliar a contribuição da agricultura para a poluição da região através de análises de fósforo e nitrogênio.
Tiemeyer et al. (2010)	Região de Dummerstorf, Alemanha	Teledyne Isco associado a um sensor de nível ultrassônico	Amostras diárias a cada 3h durante períodos de chuva e nos momentos de seca, amostras 3 vezes na semana.	Os autores buscam avaliar o impacto da utilização de drenagem artificial na agricultura quanto a poluição difusa dos rios da região.
Davies-Colley et al. (2008)	The Toenepi Catchment, Nova Zelândia	VST portable vacuum sampler	Amostras coletadas a cada duas horas durante 48 horas quando havia indício de chuva e coleta iniciada por telefone celular.	Relacionar o aumento de <i>E. Coli</i> no rio durante grandes eventos de chuva, estabelecendo uma relação com a turbidez e o acréscimo do microorganismo.
Nakasone (2003)	Região de Kasumigaura, Ibaraki, Japão	Não informado	Análises coletadas a cada 4 horas durante 3 anos, independentemente da chuva.	Busca-se entender a contribuição da poluição difusa para a qualidade do rio através de diversos parâmetros, com uma análise de longo termo de precisão da qualidade da água.

FONTE: A autora (2019)

(conclusão)

Cabe destacar alguns pontos sobre os artigos supracitados:

- (i) a operação de sensores de nível como fator de amostragem é mencionada apenas por De Girolamo (2012).
- (ii) apesar de Tiemeyer et al. (2010); Cruz et al. (2012) e Oliver et al. (2015) mencionarem sensores de nível e de vazão instalados no rio ou a utilização de *dataloggers*, estes não são fatores determinantes de amostragem.
- (iii) para Nakasone (2003); Davies-Colley et al. (2008); Tiemeyer et al. (2010); Cruz et al. (2012); Cooper et al. (2014); Cooper et al. (2015); Oliver et al. (2015); Chen et al. (2016) e Asfaw et al. (2018), o tempo foi o único parâmetro considerado para realizar as coletas. Esse critério de amostragem pode ser prejudicial à representatividade de um evento de chuva, como já discutido anteriormente.

Para as publicações nas revistas analisadas, apenas De Girolamo (2012) considera a utilização de variação de nível como parâmetro de amostragem. Desta forma, evidencia-se a lacuna de pesquisas que utilizem essa configuração de coleta, visando amostrar a poluição difusa de forma mais automatizada e considerando as interferências da duração do evento e de sua intensidade.

Com base nas informações coletadas na literatura, é possível afirmar que o amostrador automático mais difundido e utilizado nas pesquisas sobre poluição difusa é o Teledyne ISCO®. Contudo, além do ISCO®, existem diversos outros amostradores automáticos e fabricantes. São exemplos as marcas: Campbell Scientific®, Ejer Tech®, Ysi®, Endress+Hauser®, Teledyne ISCO®, entre outras (EJERTECH, 2018; YSI, 2018; ENDRESS+HAUSER, 2018; CAMPBELL SCIENTIFIC, 2017 e TELEDYNE ISCO, 2012). Todos esses equipamentos, permitem diversas combinações de números de garrafas de amostra e sensores. Como possuem bomba no próprio equipamento, suportam sucções variadas, de aproximadamente 8 mca para uma altitude equivalente a 1 atm. As velocidades são controladas e variam de acordo com a perda de carga a que o equipamento está submetido.

Na Tabela 2 são apresentados os amostradores das marcas citadas e suas características de operação.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DOS AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS

<b>Marca</b>	<b>Campbell Scientific®</b>	<b>Ejer Tech®</b>	<b>YSI®</b>	<b>Endress+ Hauser®</b>	<b>Teledyne ISCO®</b>	<b>-</b>
<b>Modelo</b>	PVS5120D	ZYE-HC01A	ProSample P	Liquistation CSP44	Isco 6712	SBn
<b>Capacidade da bomba</b>	8,09 m	8 m	30 m	8 m	8,5 m	Bomba escolhida pelo usuário
<b>Programação para eventos</b>	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Programação por tempo</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Integração com data logger</b>	Sim	Não informado	Sim	Sim	Sim	Sim

FONTE: Ejertech (2018); Ysi (2018); Endress e Hauser (2018); Campbell Scientific (2017) e Teledyne ISCO (2012)

## 2.2 IMPORTÂNCIA DO RIO PASSAÚNA PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

Na cidade de Curitiba, a exploração dos serviços de abastecimento de água é exclusividade da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, concessão firmada com a Prefeitura Municipal de Curitiba desde o ano de 1964 (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2018). Segundo dados da SANEPAR (2018), a rede de água tratada está disponível para 100% da população urbana de Curitiba, consagrando a cidade entre as 20 melhores no saneamento do Brasil e a primeira entre as capitais (OLIVEIRA et al., 2018).

O abastecimento de água para Curitiba é realizado de forma integrada com a Região Metropolitana, sendo denominado SAIC (Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba). O sistema atende também os municípios de São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Araucária, Campo Magro, Almirante Tamandaré, Colombo, Campina Grande do Sul, Quatro Barras, Pinhais e Piraquara (SANEPAR, 2013).

Por se tratar da cidade com maior população e ocupação urbana, Curitiba utiliza, em média, 66% do volume de água produzido pelo SAIC (SANEPAR, 2013). De acordo com o Plano Municipal de Abastecimento de Água (PMC, 2017) e SANEPAR (2013), o abastecimento pelo SAIC é realizado a partir da captação de mananciais superficiais, nos rios: (i) Iraizinho, (ii) Itaqui, (iii) Pequeno, (iv) Miringuava, (v) Despique, (vi) Palmital/Capivari, além das barragens do (i) Iraí, (ii) Piraquara I, (iii) Piraquara II e (iv) Passaúna; e da captação subterrânea em Almirante Tamandaré e Tranqueira e do Aquífero Karst, em Colombo. Ainda segundo a SANEPAR (2013), a contribuição dos mananciais subterrâneos é menor do que 5% do total da vazão captada para abastecimento público, sendo que as barragens representam mais de 80% de toda a captação. Quando considerado somente o reservatório do Passaúna, a capacidade de fornecimento é de, aproximadamente, 20% da capacidade de distribuição do SAIC.

Dada a importância do reservatório para a cidade, muitos são os estudos realizados no Passaúna, desenvolvidos como artigos, teses e dissertações com os mais variados focos e escopos. No âmbito do PPGERHA, que possui grande relação com o monitoramento de qualidade da água, somam-se 25 dissertações e 3 teses defendidas e outras que estão em desenvolvimento. Além disso, atualmente, está firmada uma parceria com a universidade alemã *Karlsruhe Institute of Technology*, com o projeto denominado *Multidisciplinary Data Acquisition as Key for a Globally Applicable Water Resource Management* – MuDak, que busca identificar e entender as dificuldades e potencialidades específicas do uso do reservatório do Passaúna.

### 2.3 ASPECTOS DE CONSERVAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

Assim como apresentado na situação de Curitiba e Região Metropolitana, a utilização de reservatórios é uma tendência nacional. A grande vantagem do uso do reservatório para abastecimento público é a constância na distribuição de água, pois períodos de grande precipitação possibilitam a disponibilidade de água durante os períodos mais secos. Esse comportamento, contudo, tem sido modificado devido ao baixo regime de chuva a que algumas regiões têm estado submetidas. De acordo com a Agência Nacional de Águas (2018), no início do mês de outubro, 248 de um total de

532 reservatórios localizados na região Nordeste e semiárido estavam com seu volume inferior a 30% e, segundo a SABESP (2018), neste mesmo período, os reservatórios do sistema Cantareira contavam ainda com um volume útil de apenas 36,9%.

As mudanças dos volumes dos reservatórios estão associadas ao aumento da concentração dos poluentes e às alterações do regime de temperatura, dado que esta é fortemente influenciada pela insolação a que a água está submetida (BRAGA et al., 2005). Com isso, devido ao aumento da poluição consequente das ações antrópicas e da mudança do regime hidrológico, salienta-se a importância da avaliação da qualidade da água de reservatórios e a identificação dos processos a que este sistema está submetido. Nesse sentido, avaliar o aporte de cargas poluidoras oriundas dos tributários com maior contribuição é de grande importância, pois permite entender as consequências das modificações que este corpo hídrico pode acarretar à represa.

Para que a água distribuída não gere problemas de saúde pública são especificados parâmetros comuns a todos os sistemas, que indicam o nível de qualidade do manancial. A partir desses parâmetros é possível classificar os corpos aquáticos superficiais e territoriais de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. Além disso, devem ser estabelecidas as diretrizes para o tratamento da água para abastecimento e, conseqüentemente, a sua qualidade. Idealmente, toda a água captada deveria receber tratamento adequado para o seu uso específico. A qualidade da água para abastecimento está diretamente relacionada à qualidade da água bruta, considerando o comprometimento da qualidade dos mananciais em consequência da disposição inadequada de esgoto, ocupação desordenada do solo e lançamento de resíduos sólidos, entre outros.

Com o aporte de esgoto, por exemplo, importante fonte de matéria orgânica e nutrientes, o oxigênio dissolvido tende a sofrer considerável redução na concentração, especialmente nas faixas mais próximas ao leito, gerando ambientes com características anóxicas, ou seja, camadas com qualidade muito baixa, que permitem a liberação de ferro e manganês do sedimento e o aumento das concentrações de fosfato, amônia, silicatos, carbonatos, íons de cálcio e gás sulfídrico (BRAGA et al., 2005).

Além dessas modificações na qualidade da água, a sedimentação também é responsável por mudanças nos reservatórios, dada à grande influência para

assoreamento e conseqüente redução do volume útil (ANEEL, 2000; GUSMÃO FILHO, 2008). A sedimentação é causada pela força da gravidade e caracteriza-se como um importante mecanismo de transporte de sólidos em suspensão até o leito do rio. Quanto maior for a deposição de sedimentos no fundo do leito, maior será a redução do volume útil do reservatório, até que todas as tomadas de água sejam assoreadas ou que o volume ultrapasse o mínimo necessário para exercer sua função.

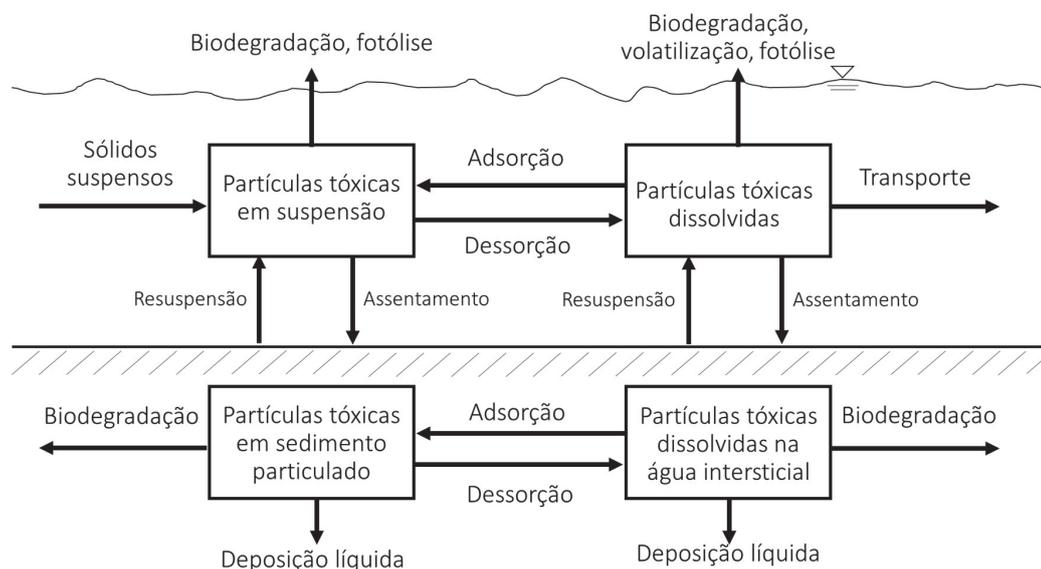
O processo de decantação ou sedimentação representa um fator relevante no estudo de metais. Isso devido à tendência de adsorção do metal nas partículas sólidas em suspensão as quais, posteriormente, formarão o sedimento superficial. Essa análise é possível através de quantificação de sólidos.

Além disso, o próprio sedimento é considerado um poluente da água, além de carreador e fixador de outros agentes poluidores (CARVALHO et al., 2000). Dessa forma, avaliar e quantificar a presença de metais tóxicos presentes neste compartimento é relevante para entender os riscos de bioacumulação e biomagnificação no reservatório.

De acordo com fatores relativos às partículas em suspensão nos reservatórios, os metais sofrem processos físicos e químicos de transformação, os quais podem estar associados a sua toxicidade. De acordo com Thomann e Mueller (1987) os processos são (Figura 4):

- (i) adsorção e dessorção entre as formas particuladas e dissolvidas;
- (ii) sedimentação e ressuspensão;
- (iii) difusão;
- (iv) ganho e perda por biodegradação, volatilização, fotólise e outras reações químicas e bioquímicas;
- (v) transporte advectivo pelo fluxo ou pela dispersão e
- (vi) deposição líquida, com perda química para o sedimento profundo.

FIGURA 4 - PROCESSOS FÍSICOS E QUÍMICOS DAS PARTÍCULAS TÓXICAS



FONTE: ADAPTADO DE THOMANN E MUELLER (1987)

Devido a estes processos, estudos buscam avaliar as consequências da poluição difusa quanto ao aumento da disponibilidade de metais e carreamento dos mesmos através da lavagem de superfícies. Gozzard et al. (2011) estudaram a importância da poluição difusa para o incremento de zinco ao rio *West Allen*, além de mensurar Ca, Mg, Na, K, Si, Pb, Al, Cd, Fe e Mn. Por outro lado, Gil e Im (2014) avaliaram a contribuição da poluição difusa decorrente da lavagem de superfícies de drenagem durante 6 eventos quantificando cádmio, cobre e chumbo. Im e Gil (2015) realizaram o mesmo experimento, porém avaliando 11 eventos, para os quais foram quantificados os mesmos metais, relacionando-os com demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitrogênio e fósforo totais. Apesar de possuírem escopos diferentes, os três estudos apontaram incremento das concentrações dos metais a partir da poluição difusa, tendo sido observado aumento da degradação dos rios e reservatórios estudados.

Outro fator que modifica as concentrações dos metais é a alteração das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) na coluna d'água. Componente importante no estudo de poluentes, o COD é considerado uma fração da matéria orgânica dissolvida no sistema aquático. Segundo Silva (2013), o COD pode ser dividido em duas porções distintas: o grupo das substâncias húmicas, de estrutura

mais complexa e de alta massa molecular; e o grupo das substâncias não húmicas, cuja composição é mais simples.

As substâncias húmicas são consideradas por autores como Buffle (1990) e Saar e Weber (1982) como tamponantes para íons metálicos, dado que alteram a mobilidade biogeoquímica desses elementos. Krabbenhoft (1995), em seus estudos com mercúrio na bacia hidrográfica de Allequash Creek, identificou uma associação positiva entre o aumento das concentrações de espécies do mercúrio e o aumento da concentração do COD.

As concentrações do COD na água sofrem diversas variações naturais e antrópicas. Existe dificuldade para o entendimento sobre as origens dessas variações: o COD tende a apresentar variação sazonal de acordo com precipitações e alagamentos, mas é notável a contribuição antropogênica aportada aos rios. Estudos interanuais e durante as mudanças de estação do ano são de grande relevância para esse entendimento, especialmente para séries de longos períodos (NOACCO et al., 2018).

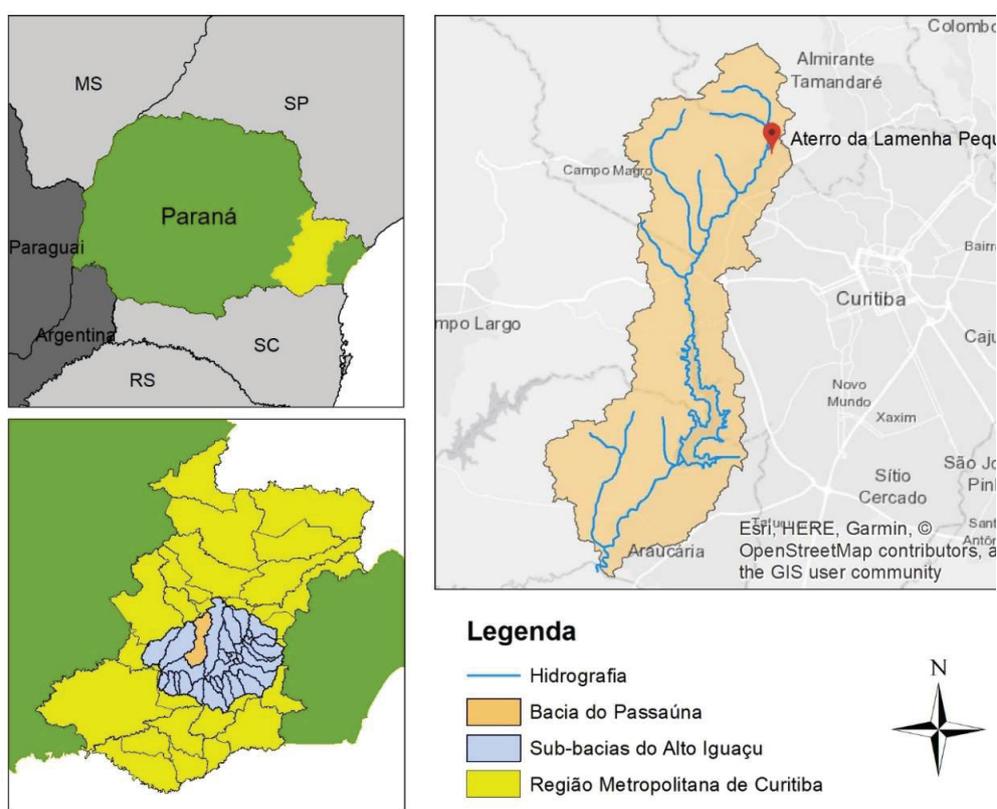
As informações obtidas a partir do levantamento bibliográfico permitiram embasar o desenvolvimento desta pesquisa que se fundamenta na avaliação da poluição difusa via utilização de um amostrador automático (BRAGA, 2013). Este equipamento possibilitou a coleta de dados para a determinação das concentrações de sólidos suspensos e totais, carbono orgânico e metais carregados ao sistema aquático em cada amostra coletada, bem como a determinação das concentrações médias dos eventos (EMC), além de ter permitido a identificação da primeira lavagem.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO PASSAÚNA

A bacia do Rio Passaúna, sub-bacia do Alto Iguaçu, abrange uma área de 217km<sup>2</sup>, onde localizam-se parte dos territórios dos municípios de Almirante Tamandaré, Campo Magro, Campo Largo, Curitiba e Araucária (SUDERHSA, 2002), como apresentado na Figura 5.

FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO PASSAÚNA



FONTE: A autora (2019)

O rio Passaúna, objeto de estudo deste trabalho e principal componente da bacia, nasce no município de Almirante Tamandaré, entre as Serras de São Luiz do Purunã e Bocaina e desemboca no Rio Iguaçu, após percorrer 57 km (MEGER, 2007). Nesse percurso, o rio recebe aportes de usos do solo diversos e de um aterro controlado, localizado entre os municípios de Curitiba e Almirante Tamandaré (Figura 5). O aterro, denominado “aterro da Lamenha Pequena” foi operado por Curitiba durante o período entre 1964 e 1974 como lixão, sem nenhum controle ou

impermeabilização do solo antes de ser transformado em aterro controlado, após a terceirização das operações para uma empresa privada em 1974, tendo sido utilizado para disposição final de resíduos sólidos urbanos até 1989, quando foi encerrado (BRAGA, 2018 – informação verbal)<sup>1</sup>. Sua área está completamente inserida na bacia do Passaúna e tem seu efluente descartado no Rio Passaúna após tratamento em lagoas anaeróbia e facultativa. De acordo com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba (SMMA, 2010), o efluente não afeta negativamente a qualidade do rio. Ainda de acordo com a mesma fonte, análises realizadas em 2009 permitiram observar que o parâmetro nitrogênio amoniacal extrapolava os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 397/2008, isto é, o valor estava acima do limite de 20mg N-NH<sub>3</sub>/L.

O entendimento que o aterro controlado não afeta negativamente o rio acaba sendo uma interpretação superficial do problema relacionado ao lançamento de lixiviado em corpos receptores, pois considera apenas a fonte pontual de lançamento. Por outro lado, não pode ser desconsiderada a potencial fonte de poluição difusa pelo carreamento pela água da chuva após uma precipitação que gere escoamento superficial. Especialmente dada a sua proximidade ao rio, conforme apresentado na Figura 5.

Talvez o elemento mais importante da bacia do Passaúna seja a represa ou reservatório do Passaúna. Um dos componentes do sistema de abastecimento da cidade de Curitiba, abastece uma população de 500.000 habitantes e, em função da sua proximidade com os centros urbanos, demanda maior controle e fiscalização, apesar de oferecer vantagens em relação ao custo por estar próximo aos centros de consumo (MEGER, 2007; SANEPAR, 2014). A represa possui lâmina da área alagada correspondente a 11 km<sup>2</sup>, na cota do nível operacional normal, de 890 m, e profundidade média de 9,4m, podendo atingir 16 m (VEIGA, 2001 apud SILVA FILHO, 2010). Segundo Busch (2009), o tempo de detenção médio das águas da represa é maior do que 5 meses.

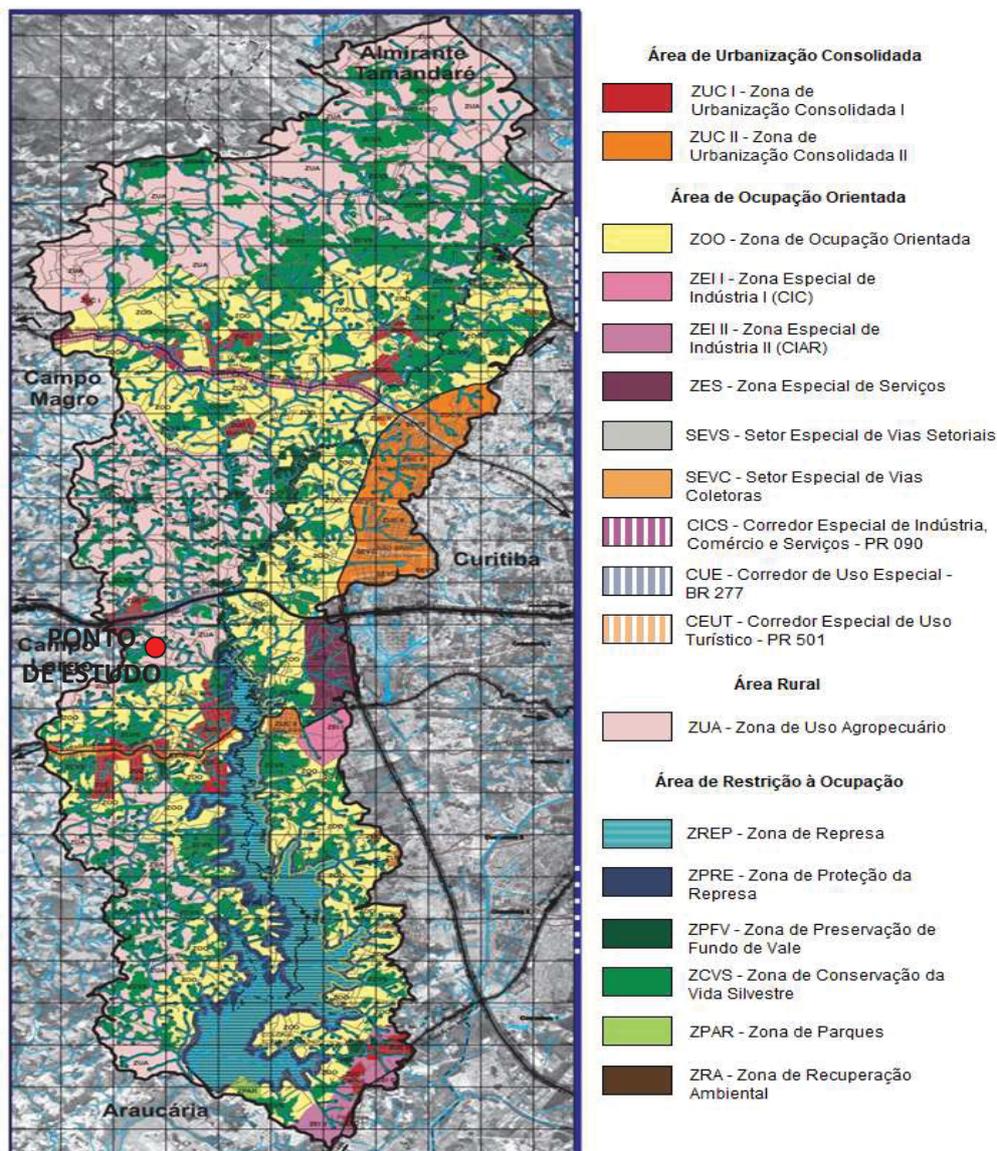
Assim, devido a sua importância para a distribuição de água potável e à proximidade a grandes centros urbanos, em 2001, o Governo do estado do Paraná decretou a existência e regulação de uma área de proteção ambiental (APA), denominada APA Estadual do Passaúna (PARANÁ, 2001). A criação da APA visou

---

<sup>1</sup> BRAGA, M. C. B. Funcionamento do aterro da Lamenha Pequena. Curitiba, 2018. Informação verbal.

promover o controle ambiental, assegurando a recuperação e conservação do manancial, promovendo a recomposição florestal e incentivando o uso e ocupação do solo de forma adequada. A apresentação da APA Estadual do Passaúna, bem como o uso do solo determinado são apresentados na Figura 6.

FIGURA 6 – APA ESTADUAL DO PASSAÚNA

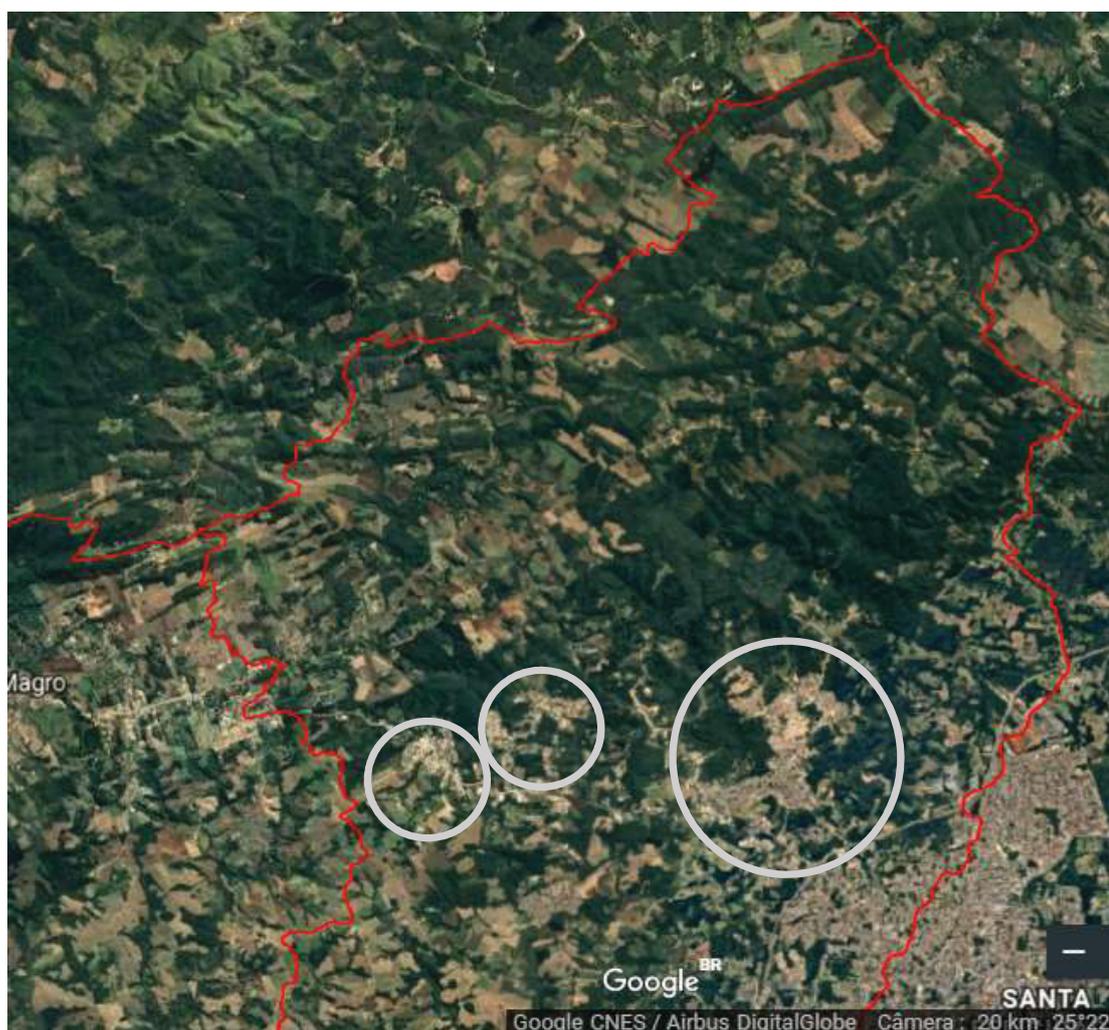


FONTE: Adaptado de PARANÁ (2001)

Na Figura 6 são indicados os usos recomendáveis do solo da bacia do rio Passaúna. Predominantemente, o solo deveria ser destinado para uso agropecuário, de preservação ou de ocupação orientada. A realidade da ocupação, contudo, apresenta algumas divergências. Com os dados de satélite, disponíveis em plataformas gratuitas como o Google Earth, é possível identificar com certa acurácia a ocupação atual da bacia após 17 anos da criação da APA do Passaúna. Essa determinação é de grande importância para a pesquisa, uma vez que o uso do solo está diretamente associado à poluição difusa aportada ao rio e, conseqüentemente, ao reservatório.

Nas Figura 7 a Figura 9 são ilustradas as condições reais e atuais de uso do solo.

FIGURA 7 - IMAGENS DE SATÉLITE DA PORÇÃO MAIS À MONTANTE DA BACIA



FONTE: Google Earth (2019)

Como pode ser observado na Figura 7, na porção mais a montante da bacia, a ocupação é predominantemente rural, com grandes áreas de plantio. São encontrados também pequenos conglomerados urbanos circundados nessa mesma figura e, nos limites à direita da bacia, o bairro do Butiatuvinha da cidade de Curitiba. Nota-se que as contribuições urbanas nessa porção são escassas, o que torna as características dos hidrogramas tipicamente de bacias rurais, com picos mais suaves e redução mais gradual (TUCCI, 2000).

Na Figura 8, referente à parcela mais próxima do reservatório, observa-se que a parcela de ocupação urbana aumenta. Além de maiores aglomerados urbanos, existe grande proximidade com o bairro Cidade Industrial, polo industrial da cidade de Curitiba. Essas características podem trazer preocupações quanto à qualidade do reservatório com um crescimento descontrolado de ocupação de seu entorno. No geral, esse tipo de ocupação não possui ligações com a rede de esgoto nem políticas de conservação da área, podendo causar poluição pontual e difusa para a represa. Apesar dessas alterações, ainda é possível constatar o grande uso rural do solo, com predominância de áreas verdes e com baixa ocupação.

FIGURA 8 - IMAGENS DE SATÉLITE DO INÍCIO DO RESERVATÓRIO



FONTE: Google Earth (2019)

Por outro lado, na porção a jusante do reservatório, conforme apresentado na Figura 9, a contribuição rural volta a ser predominante. A porção no limite a jusante a direita da bacia apresenta área urbana considerável, mas pode-se reduzir a sua influência para a principal região de estudo, dado o grande afastamento até essa área. Na porção à esquerda do reservatório a ocupação é quase que completamente rural, sem nenhum aglomerado urbano ou área semelhante.

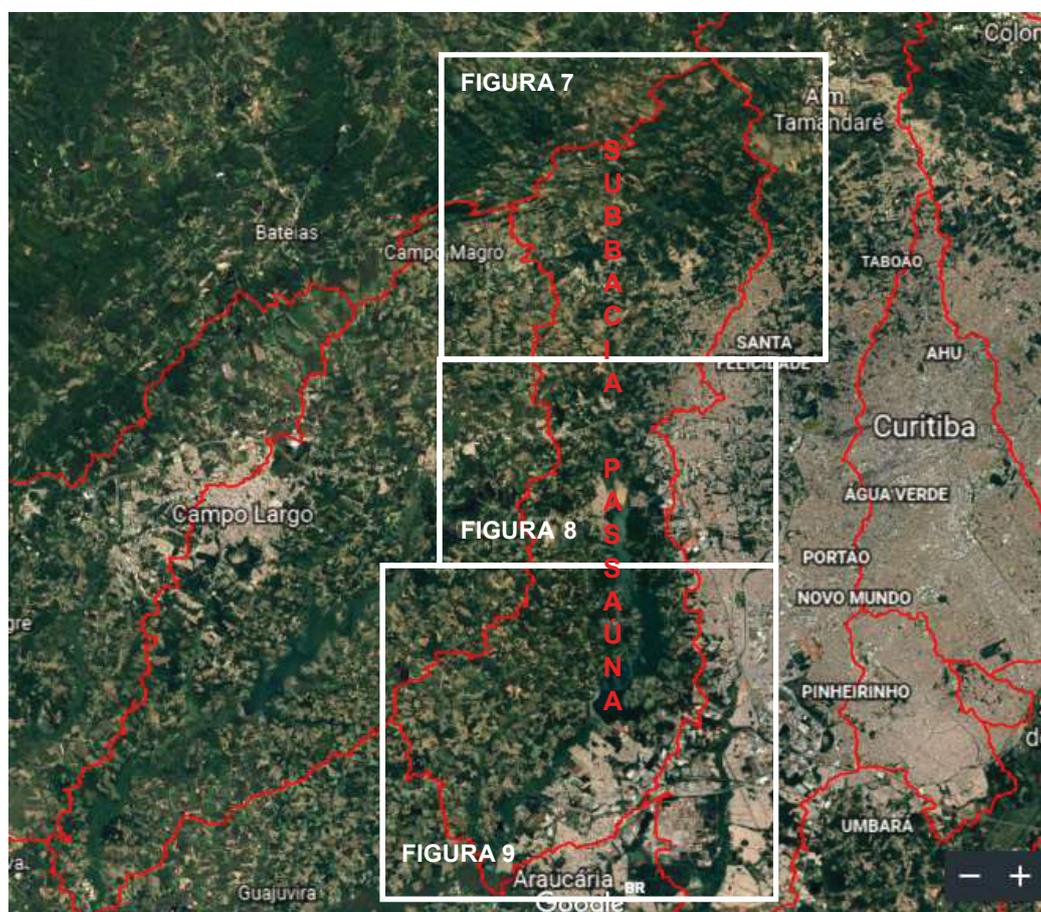
FIGURA 9 - IMAGENS DE SATÉLITE DA PORÇÃO MAIS À JUSANTE DA BACIA



FONTE: Google Earth (2019)

Na Figura 10 é apresentada a imagem de satélite da bacia do Passaúna integralmente, indicando onde foram consideradas as divisões das Figuras 7 a 9.

FIGURA 10 - VISUALIZAÇÃO RESUMO DAS FIGURAS 7 A 9



FONTE: Google Earth (2019)

Sautini et al. (2004) apontam a ocupação antrópica, o desflorestamento e o crescimento da agricultura como causadores de impactos imediatos ao reservatório. A produção mais intensa de sedimentos resulta no assoreamento de vários pontos do canal do rio Passaúna e do próprio reservatório. De acordo com a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR, 2002) esse fenômeno afeta a qualidade da água e pode comprometer seu uso para o abastecimento público e consequente consumo humano, pois as características da qualidade da água bruta resultam em maior concentração de produtos químicos adicionados, principalmente o cloro, e aumento do tempo de permanência nas unidades de tratamento.

Além da poluição associada diretamente ao reservatório, a degradação dos rios que confluem a ele é ainda mais comum, o que resulta em relevantes alterações da qualidade da água. Principal componente da bacia, o Rio Passaúna apresenta

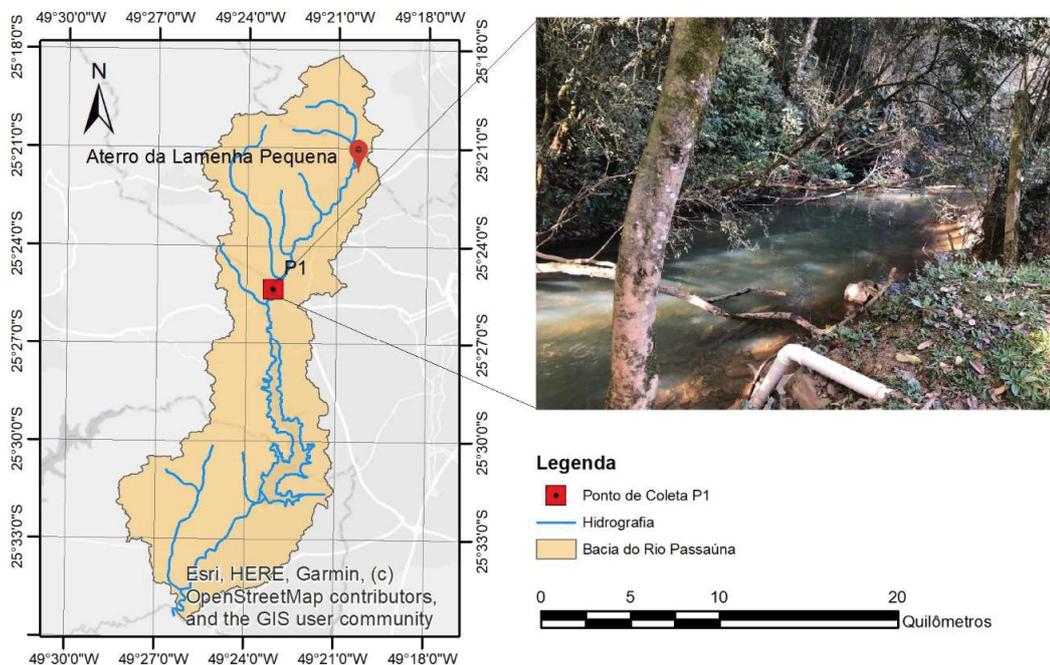
grande alteração das características dos parâmetros físico-químicos consequentes do aporte de poluição por fontes antrópicas e da agricultura. Segundo IAP (2005), entre os anos de 1992 e 2005, o rio possuía diversos trechos com características, as quais, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05, poderiam enquadrá-lo como classe 3 ou 4, apesar de, perante a legislação paranaense, ser considerado como classe 2.

Segundo o sistema de classificação de Koeppen (KÖPPEN e GEIGER, 1928), o clima da região é denominado *Cfb*, temperado úmido com verão temperado, caracterizado pelos solstícios bem definidos, temperaturas médias anuais de 17°C e chuva anual média de 1500 mm, sendo que julho e agosto são os meses mais secos do ano (ALVARES et al., 2014). Segundo BUSCH (2009), a precipitação média pode oferecer informações sobre o aumento na carga difusa de nutrientes e poluentes para os mananciais.

### 3.2 PONTO DE AMOSTRAGEM

Para a amostragem da água foi estabelecido um ponto de coleta, a partir daqui denominado P1, considerado uma das entradas do reservatório, cujas coordenadas geográficas são 25°25'18,7"S e 49°23'07,2"W. A localização deste ponto é ilustrada na Figura 11.

FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA NA BACIA DO RIO PASSAÚNA



FONTE: a autora (2019)

### 3.2.1 Estação pluviométrica

Para avaliação da precipitação, escolheu-se um ponto de monitoramento mais próximo possível do local de coleta. O Instituto das Águas do Paraná (SIH, 2019) disponibilizou dados da estação pluviométrica “*Barragem Sanepar*”, localizada nas coordenadas 25°32'00 "S e 49°23'11 W, próxima à barragem do reservatório do Passaúna, distando aproximadamente 12 km do ponto P1. Os dados desta estação são registrados a cada 15 minutos, oferecendo boas condições para a avaliação da interferência das chuvas durante os eventos coletados.

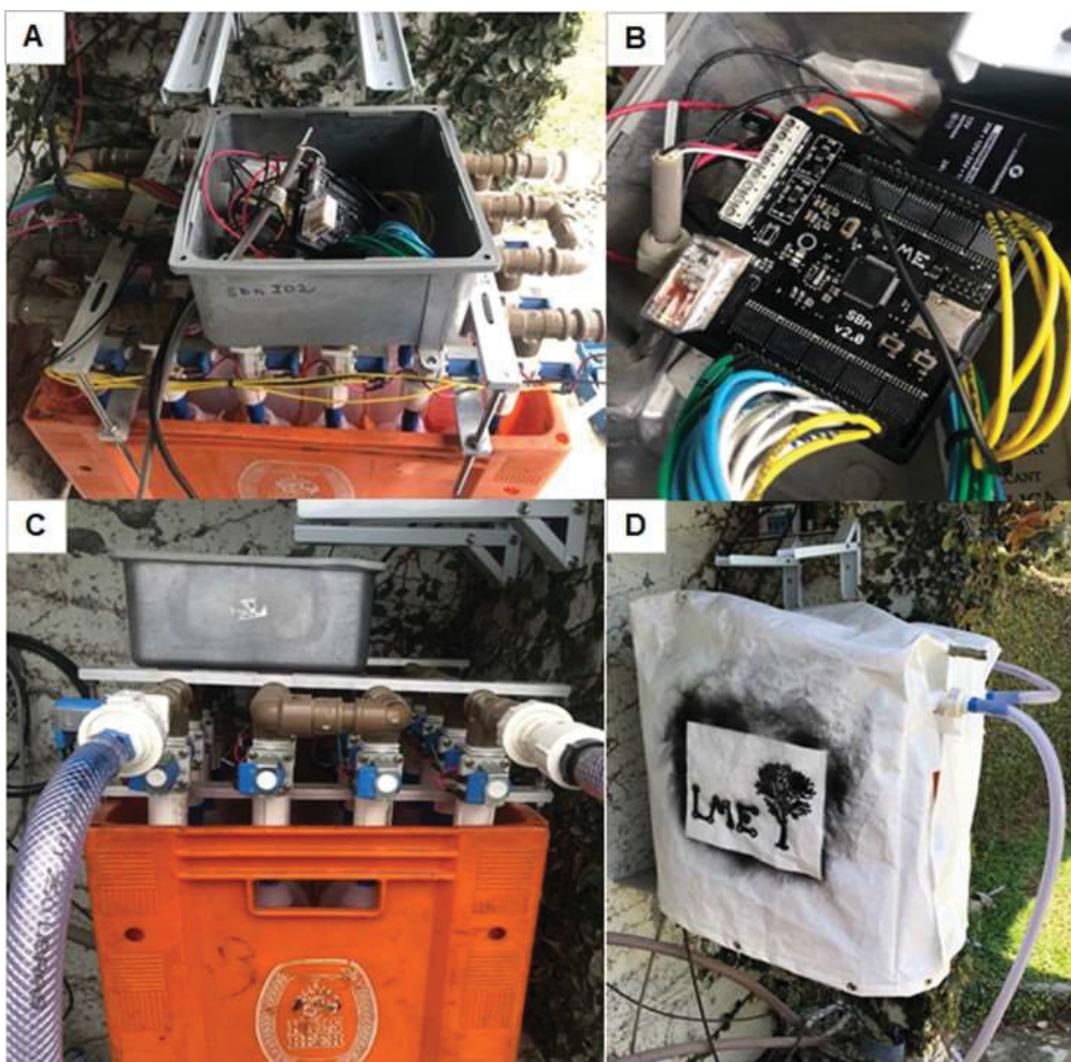
### 3.3 EQUIPAMENTO DE AMOSTRAGEM AUTOMÁTICA

Para a amostragem dos eventos relevantes à pesquisa, escolheu-se utilizar o amostrador SBn, desenvolvido por Braga (2013). Esta opção considerou a possibilidade de coletas de amostras de água que pudessem identificar a maior carga de poluentes carregada ao rio, durante eventos de chuva de maior intensidade desde o seu início até a sua recessão.

Como citado no capítulo anterior, são diversos os amostradores automáticos com programações e amostragens distintas. O SBn foi escolhido para uso nesta pesquisa em função do seu baixo custo de construção, operação e manutenção e, principalmente, devido a sua performance previamente testada em campo (Braga, 2013; Kozak, 2016). Além disso, o SBn possui grande autonomia em relação à amostragem, pois apresenta baixo consumo de energia, capacidade para amostrar 24 frascos, sendo de fácil adaptação para realidades distintas. Isso porque apresenta simplicidade para modificar a sua programação, o que torna o equipamento versátil para uso em rios com diferentes seções transversais, declividades, velocidades, distâncias entre o rio e o equipamento de coleta, entre outras características.

Outro ponto importante em relação ao SBn é a condição atual de produção completamente realizada no Laboratório de Monitoramento Eletrônico (LME/DHS – UFPR), sem necessidade da utilização do amostrador ISCO® como distribuidor. Dessa forma, a operação torna-se ainda mais simples e econômica, com facilidade para reparos de erros e manutenção. Na Figura 12 é apresentado um equipamento SBn como montado em campo.

FIGURA 12 – AMOSTRADOR AUTOMÁTICO SBN



Legenda: (A) distribuidor e placa de comando; (B) placa de comando; (C) detalhe da entrada de água e distribuidores; (D) capa desenvolvida para o Sbn para proteger a integridade das garrafas

FONTE: a autora (2019)

Os processos de instalação e de operação do Sbn utilizados nesta pesquisa são apresentados a seguir.

### 3.3.1 Instalação

A instalação do equipamento foi realizada em diversas etapas que consistiram na escolha do local, quanto a segurança e potencial para amostragem de poluição

difusa, e instalação propriamente dita. O desenvolvimento do equipamento e a calibração dos sensores foi realizada anteriormente em laboratório. Esses procedimentos, contudo, são comuns a todos os projetos que utilizam o amostrador SBn, não sendo explicitados aqui, uma vez que a parte operacional e construtiva pode ser consultada em Braga (2013).

O ponto escolhido para a instalação do SBn está próximo a uma pedreira em operação, que ofereceu condições adequadas para em relação à manutenção do equipamento em campo, disponibilizando uma estrutura de alvenaria e instalações elétricas, conforme apresentado na Figura 13. Além disso, o local oferecido pela Pedreira Central permite a conservação da integridade dos sensores e da bomba submersa.

FIGURA 13 – ESTRUTURA DE ALVENARIA DISPONIBILIZADA PARA A INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO



FONTE: a autora (2019)

Com a escolha do local, iniciaram-se os procedimentos de instalação, que consistiram em: (i) escavação da rua e das margens do rio para instalar a passagem de todos os cabos elétricos e mangueiras; (ii) instalação da bomba e do sensor de

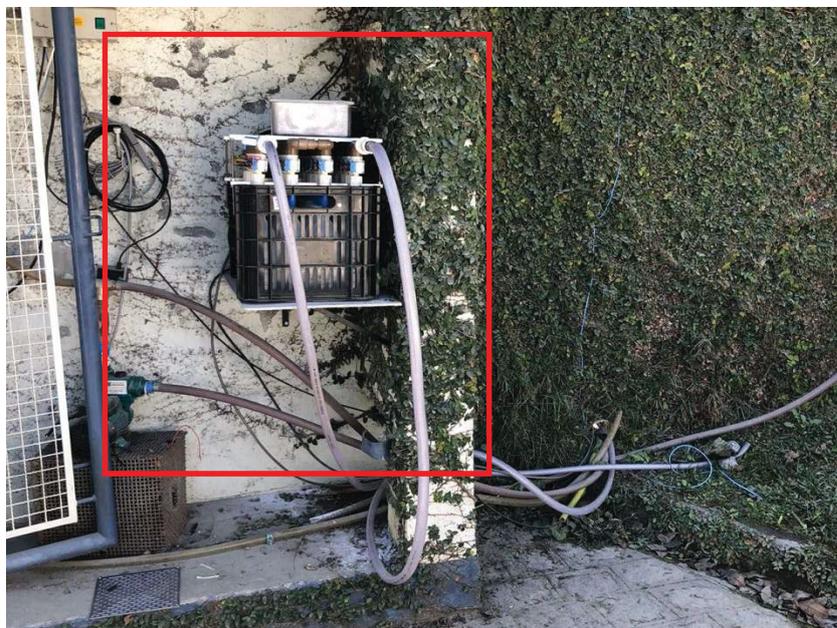
nível em um suporte próximo à régua linimétrica, previamente instalada, (iii) instalação do SBn na estrutura de alvenaria, (iv) instalação da placa solar e das baterias e (v) teste final do equipamento em campo, com calibração do sensor de nível. As etapas (ii) e (iii) são apresentadas na Figura 14 e Figura 15.

FIGURA 14 - INSTALAÇÃO DA BOMBA E DO SENSOR DE NÍVEL



FONTE: A autora (2019)

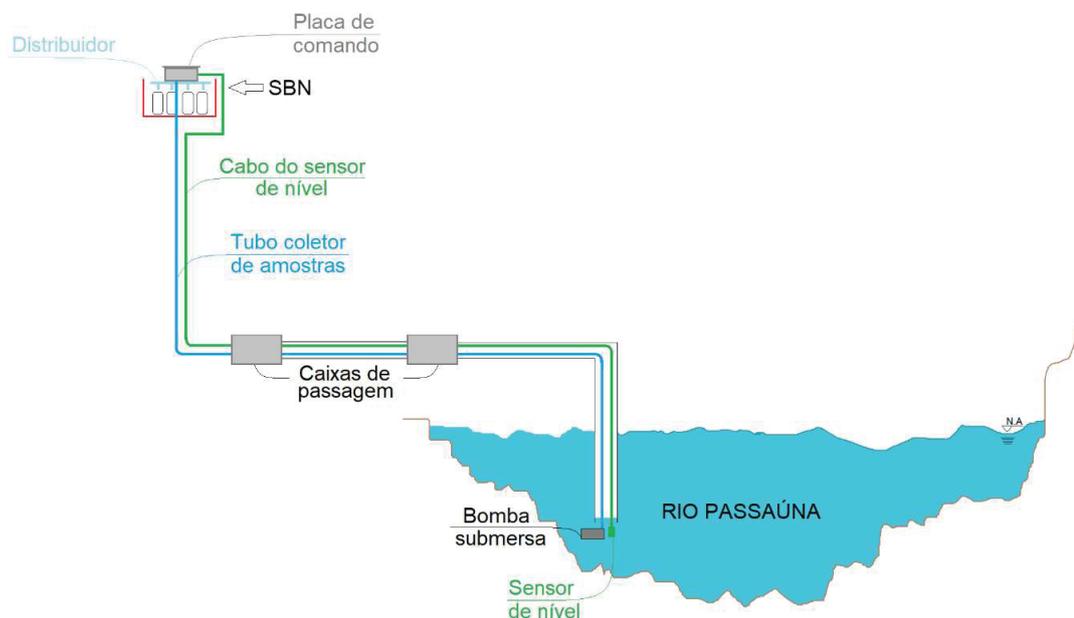
FIGURA 15 – ACONDICIONAMENTO DO SBN INSTALADO DENTRO DA PEDREIRA



FONTE: A autora

O SBn opera com bomba submersa e sensor de nível instalado no interior do rio. O cabeamento desses dois elementos em conjunto com a mangueira que leva a água bombeada passa por tubos plásticos e metálicos que conduzem esses componentes até suas conexões: a mangueira é conectada ao distribuidor e os fios à placa de comando do SBn. Na Figura 16 é apresentada uma representação esquemática dos componentes do SBn dentro e fora do rio.

FIGURA 16 – COMPONENTES DO SBN



FONTE: A autora (2019)

### 3.3.2 Operação

O SBN possui programação automática ajustável pelo usuário de maneira a atender suas necessidades de amostragem. Assim, são diversos parâmetros que afetam seu funcionamento, destacando-se: (i) inicialização e finalização de eventos, (ii) quantificação do tempo de bombeamento para limpeza da mangueira e enchimento das garrafas, (iii) intervalo entre as leituras de nível, (iv) data e hora e (v) calibração do sensor de nível. Além desses, também é possível alterar a forma de ativação da amostragem, coletando amostras teste ou programando coletas com horário ou intervalo de tempo programados.

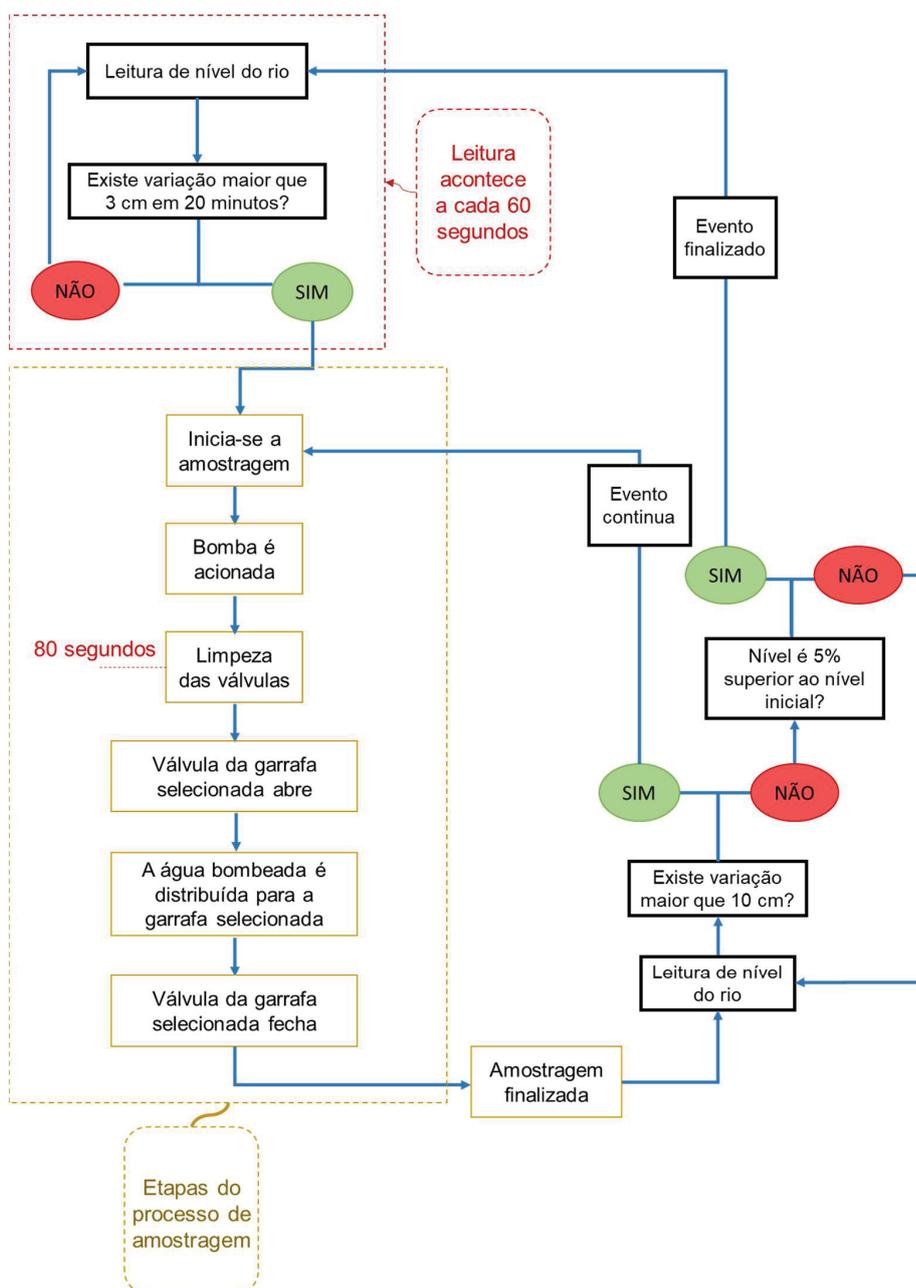
O equipamento pode operar nos modos *temporizado* ou *evento*, mas sempre de forma isolada, não sendo possível ativar dois modos simultaneamente. Para esta pesquisa foram programadas coletas com o modo *evento* e *temporizado*. O primeiro foi utilizado para amostragem de eventos de chuva e o segundo para coleta sem precipitação, ou seja, identificando o escoamento base do rio. Além dessas duas configurações, a cada ida ao campo foi executada uma rotina de testes de enchimento de garrafas para verificar a integridade das válvulas e da bomba.

Para o modo *evento*, a coleta da primeira amostra é realizada quando observada variação rápida de nível na coluna d'água. As amostras subsequentes são coletadas em intervalos regulares e pré-programados de variação de nível. Para a sessão em questão - P1, foi considerada como variação rápida de nível uma alteração maior ou igual a 3 cm, ocorrendo em um intervalo de 20 minutos. As amostras subsequentes são coletadas quando o equipamento identifica uma variação de nível igual ou maior a 10 cm, considerando como referência o nível em que foi realizada a coleta anterior, independentemente do tempo dessa variação.

Para o modo *temporizado* determina-se o momento de inicialização das amostras e qual o intervalo de tempo até a próxima amostragem. Para coleta de informações do escoamento do rio sem chuva, programou-se coletas iniciando às 14 horas, com intervalo de tempo de 720 minutos.

Na Figura 17 é apresentada a sequência lógica de amostragem adotada para a programação do SBn no modo *evento*.

FIGURA 17 – SEQUÊNCIA LÓGICA DE AMOSTRAGEM DO SBN



FONTE: Adaptado de KOZAK (2016)

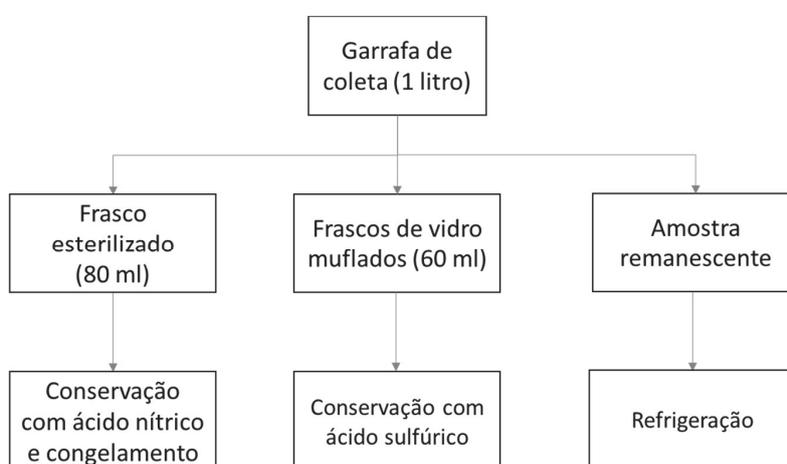
### 3.4 AMOSTRAGEM

As amostras foram coletadas em garrafas de plástico, sem uso anterior, as quais foram acondicionadas em caixas protegidas em conjunto com o SBN em operação. Do volume total de água coletado (1 L), uma parcela destinada à análise

dos metais dissolvidos foi acondicionada em frascos plásticos esterilizados por raio gama. Estes frascos receberam ácido nítrico ultrapuro (65%). Outra parcela da amostra foi acondicionada em frascos de vidro âmbar, tratados previamente em mufla (marca Fornitec), a 500°C. Para as análises de carbono orgânico, as amostras foram preservadas com ácido sulfúrico concentrado. Para as análises de sólidos totais e suspensos e turbidez, o restante das amostras foi mantido sob refrigeração a 10°C.

Na Figura 18 é apresentada a representação esquemática da sequência de acondicionamento das amostras após a coleta.

FIGURA 18 – ESQUEMA DO ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS



FONTE: A autora (2019)

### 3.5 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Para as análises dos parâmetros físicos e químicos, foram utilizados os recursos e dependências do LABEAM – UFPR (Laboratório de Engenharia Ambiental Prof. Francisco Borsari Netto) e do LAMAQ – UTFPR (Laboratório Multiusuário de Análises Químicas).

Todos os procedimentos experimentais foram realizados de acordo com os métodos especificados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) ou adaptações de acordo com Dombroski (2011).

### 3.5.1 Conjunto de sólidos

A determinação da concentração de sólidos totais foi realizada em banho-maria e posterior secagem em estufa (marca MaxBiomedical, modelo Delta 04) com cápsulas de porcelana, a 105°C, por 1 hora. A determinação da concentração da série de sólidos suspensos, foi realizada pelo método gravimétrico com cadinhos de cerâmica, na estufa supracitada, a 105°C, por 45 minutos, com prévia filtração a vácuo, por membrana de fibra de vidro com porosidade de 0,28mm (marca Macherey-Nagel, modelo GF-3).

### 3.5.2 Metais na água

Para a determinação da concentração dos metais (Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Pd, Sn e Zn) na água foi utilizado um espectrofotômetro ICP-OES (marca PerkinElmer, modelo Optima 8300), disponível no LAMAQ – UTFPR. As concentrações foram determinadas para um limite de detecção na ordem de 0,01mg/L.

Para as parcelas dissolvidas, as amostras de água coletadas foram filtradas em membrana de acetato de celulose, com porosidade de 0,45 µm (marca Unifi) e preservadas com ácido nítrico (65%). Para análise de metais totais, foi realizada digestão ácida em chapa digestora com ácido nítrico. Após a digestão, as amostras foram avolumadas para volume correspondente ao anterior a digestão e centrifugadas a 5000 rpm. As análises foram realizadas em triplicata.

### 3.5.4 Carbono orgânico dissolvido na água

A quantificação do carbono orgânico dissolvido foi realizada no LABEAM, em equipamento analisador de carbono orgânico (marca Shimadzu, modelo TOC V-CPH), a partir de amostras previamente filtradas em membranas de acetato de celulose, com porosidade de 0,45 µm (marca Unifil). Além da filtração, as amostras foram preservadas em 0,2 mL de ácido sulfúrico concentrado.

O método para a determinação da concentração do carbono orgânico dissolvido consiste na combustão da amostra em elevada temperatura, procedimento que transforma todo o material orgânico da amostra em CO<sub>2</sub>, e detecção infravermelha não dispersiva.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA CURVA CHAVE

A curva chave foi determinada a partir de série histórica de vazão e cota disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná (SIH, 2019). Essa série é referente a um ponto de monitoramento do órgão que está localizado a 700m à jusante do ponto P1 e a partir daqui denominado *Estação BR-277*.

Os dados são referentes ao período de 19/06/2016 a 31/12/2018, devido a mudanças na posição da régua em que as séries mais antigas eram referenciadas. Como não foi oferecido correlação com a régua atual, determinou-se que não seriam considerados estes valores. A série histórica consta no Anexo 1 deste trabalho.

A partir destes dados, foi realizada a linearização da equação da curva chave por função logarítmica e encontrados os parâmetros da equação que ofereceram a maior correlação possível. Realizadas essas etapas, avaliou-se a comparação entre as vazões calculadas e observadas, buscando-se valores de erro menores que 2%.

Após a interpretação dos dados de vazão e nível do rio a partir do método logarítmico como expresso no item 3.6, obteve-se a curva chave para o ponto Estação BR-277, com equação representada por Equação 2:

$$Q = 2,342071(h + 0,27)^{2,0873} \quad (2)$$

Onde:

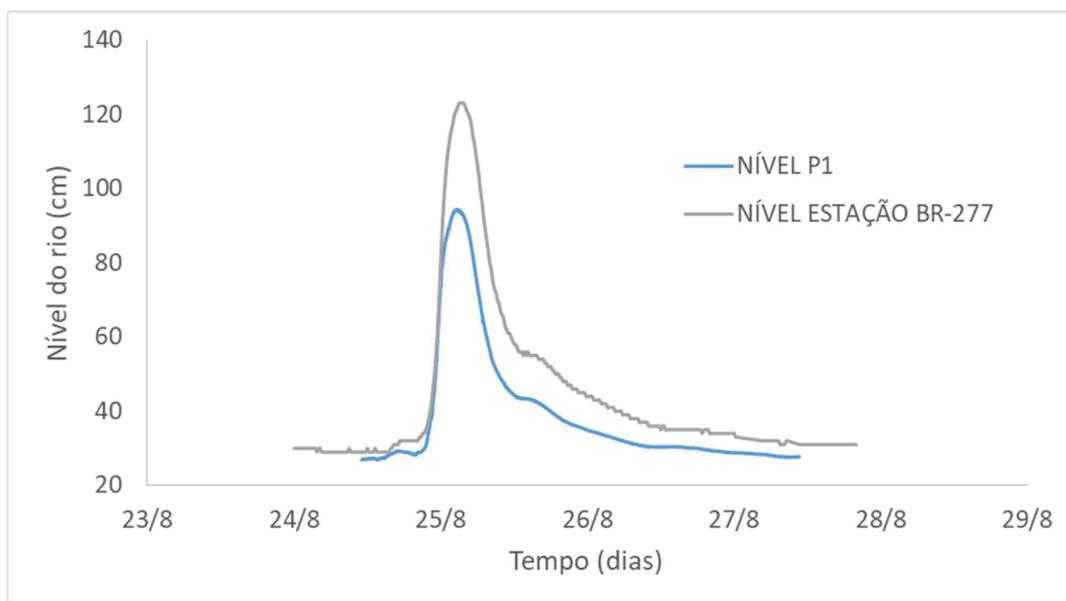
Q = vazão em m<sup>3</sup>/s

h = nível do rio em metros

Comparando os dados de leitura de nível, em um mesmo instante, no ponto P1 e no ponto Estação BR-277, obteve-se como diferença menos de 1 cm entre as leituras no período de escoamento base. Contudo, durante a ocorrência de eventos de precipitação, foi identificada uma variação na ordem de dezenas de centímetros em relação às duas seções.

Como pode ser observado na Figura 19 para o mesmo evento o nível do rio produziu maior variação no ponto Estação BR-277 quando comparado ao ponto P1, o que pode ser indicativo que a seção do segundo é mais aberta em relação ao primeiro.

FIGURA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS NOS PONTOS P1 E ESTAÇÃO BR-277



FONTE: A autora (2019)

Dessa forma, observou-se que não é viável a utilização direta da curva chave produzida para o ponto Estação BR-277 no ponto P1. Idealmente, seria necessária a realização de levantamentos topográficos e batimétricos da seção, além de medidas de vazão no ponto P1 em diferentes condições de escoamento. Contudo, na ausência de tempo hábil para esse procedimento, buscou-se alternativas para a utilização da curva chave obtida para o ponto Estação BR-277 no ponto P1.

Com isso, a transposição de níveis mostrou-se um processo relativamente simples e com bons resultados. O processo de transposição dos níveis do ponto P1 para o ponto Estação BR-277 considerou que a vazão não recebe contribuições relevantes entre os dois pontos. A partir dessa ponderação, realizou-se interpolação linear entre as alturas observadas em diversos eventos, obtendo-se como resultado uma equação que transpõe o nível do ponto P1 para o nível no ponto Estação BR-277.

A equação de transposição é definida por Equação 3:

$$h_{BR-2} = 1,41456h_{P1} - 8,62563 \quad (3)$$

Onde:

$h_{BR-277}$  = nível na ponte BR-277, e

$h_{P1}$  = nível no ponto P1.

Ao utilizar o novo nível como uma aproximação do existente no ponto Estação BR-277, torna-se viável a utilização da equação da curva chave determinada para este último. Com as adaptações consideradas, foi possível transformar todos os gráficos em função de nível para vazão, tornando possível o cálculo do *first-flush* e a avaliação do escoamento superficial de cada evento, como apresentado nos subitens a seguir.

É importante ressaltar que os resultados desse trabalho podem ser alterados caso exista mudança na determinação de vazões após a obtenção da curva chave ajustada ao ponto P1, pois todo processo de amostragem independe desse parâmetro.

### 3.7 DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A determinação do escoamento superficial se deu a partir do método da linha reta. O método se baseia em análise gráfica do hidrograma, traçando pontos onde o escoamento superficial inicia (ponto A) e finaliza (ponto C). A escolha de ambos os pontos é realizada com a plotagem do hidrograma em escala mono-log, já que a recessão tende a seguir uma equação exponencial (TUCCI, 2000). Após a determinação dos pontos, traça-se uma linha reta unindo-os e estipula-se que todo volume contido entre a reta e o hidrograma compõe o escoamento superficial.

### 3.8 DETERMINAÇÃO DO *EVENT MEAN CONCENTRATION* E DO APORTE PARA O RESERVATÓRIO.

O cálculo do *event mean concentration* (EMC) foi realizado a partir da Equação 1:

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^n V_i C_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

Em que:

EMC = Event Mean Concentration

$V_i$  = Descarga correspondente à amostra  $i$

$C_i$  = Concentração do poluente na amostra  $i$

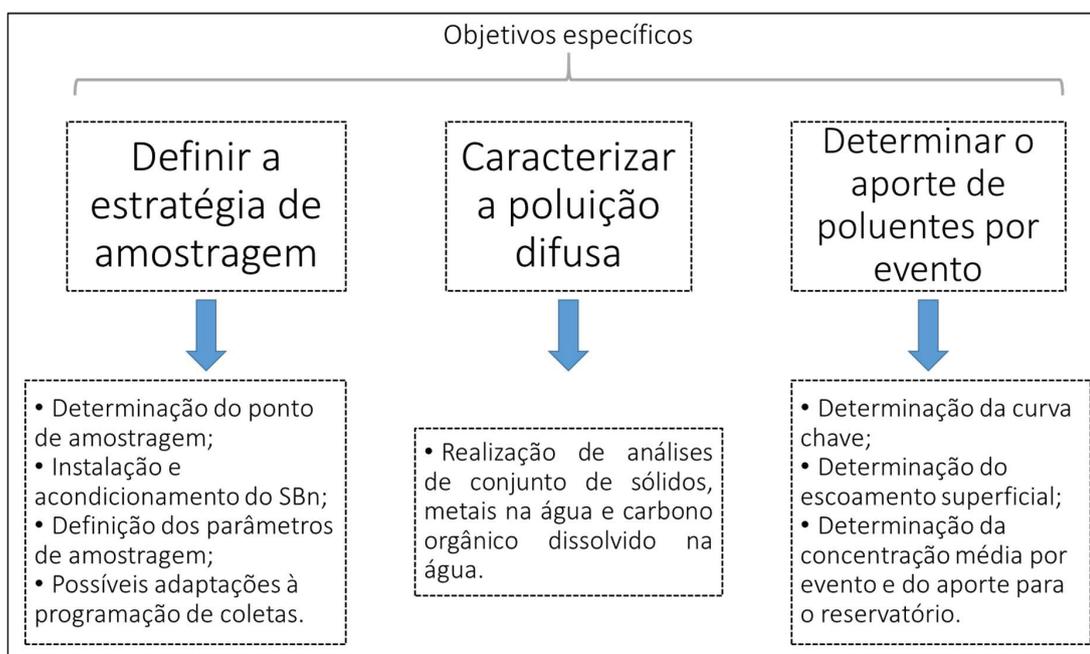
$i$  = número da amostra

$n$  = número total de amostras do evento

A partir do cálculos do *EMC* é possível estimar o aporte aproximado do evento para o reservatório, resultados que podem indicar se a poluição difusa está contribuindo, de forma negativa, para a degradação da qualidade da água.

Isto posto, resume-se os métodos utilizados nesse trabalho e sua relação com os objetivos específicos descritos no item 1.2.2 a partir do diagrama apresentado na Figura 20.

FIGURA 20- DIAGRAMA DE RELAÇÃO ENTRE OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS E OS MÉTODOS



FONTE: A autora (2019)

## 4 RESULTADOS

Para facilitar a compreensão dos resultados, optou-se pela separação em três partes. Na primeira parte serão apresentados os resultados referentes às condições de amostragem, aos desafios e etapas necessárias para a coleta de amostras compatíveis com as condições dos eventos transcorridos. Na segunda parte serão apresentados os resultados de variáveis hidrológicas, como curva chave e escoamento superficial. Por fim, na terceira parte, serão apresentados os resultados das análises de laboratório, isto é, das concentrações dos parâmetros físico-químicos associados aos hidrológicos. Dessa forma, ao fim deste capítulo, busca-se discutir todos os resultados obtidos pelo desenvolvimento do presente trabalho.

### 4.1 RESULTADOS DA AMOSTRAGEM

Com a instalação do SBn realizada, foram registrados 9 eventos de chuva e duas séries de seca. Esses resultados serão apresentados individualmente nos subitens a seguir. Além disso, a tabela 3 resume todos os eventos em suas principais características.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAGENS

<b>Evento</b>	<b>Data</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Amostras</b>	<b>Q<sub>pico</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>1</b>	24/08/2018	45,6	6	5,61
<b>2</b>	02/09/2018	30,2	Não amostrou	1,92
<b>3</b>	27/09/2018	15	6	2,39
<b>4</b>	02/10/2018	73,6	9	2,92
<b>5</b>	05/10/2018	63,6	24	6,75
<b>6</b>	11/10/2018	97,4	24	20,69
<b>7</b>	24/10/2018	72,4	10	3,08
<b>8</b>	13/11/2018	21	13	4,31
<b>9</b>	21/11/2018	53	15	8,69
<b>SECA 1</b>	23/01/2019	59,4	24	10,11
<b>SECA 2</b>	14/02/2019	136	24	40,23

FONTE: A autora (2019)

#### 4.1.1 Primeiro evento

A primeira coleta realizada pelo SBn ocorreu nos dias 24 a 26 de agosto de 2018, quando uma precipitação de proporções médias atingiu Curitiba e região metropolitana. O acumulado em 24 horas, no dia 25, foi de 40,1 mm, tendo sido a precipitação mais significativa do mês (SIG, 2019). Esse evento de chuva causou perturbação no nível da coluna d'água maior do que 65 cm e gerou a programação para a coleta de 12 garrafas de amostras, conforme mostrado na Figura 21, na qual é apresentada a interface do arquivo gerado pelo SBn ao iniciar o evento.

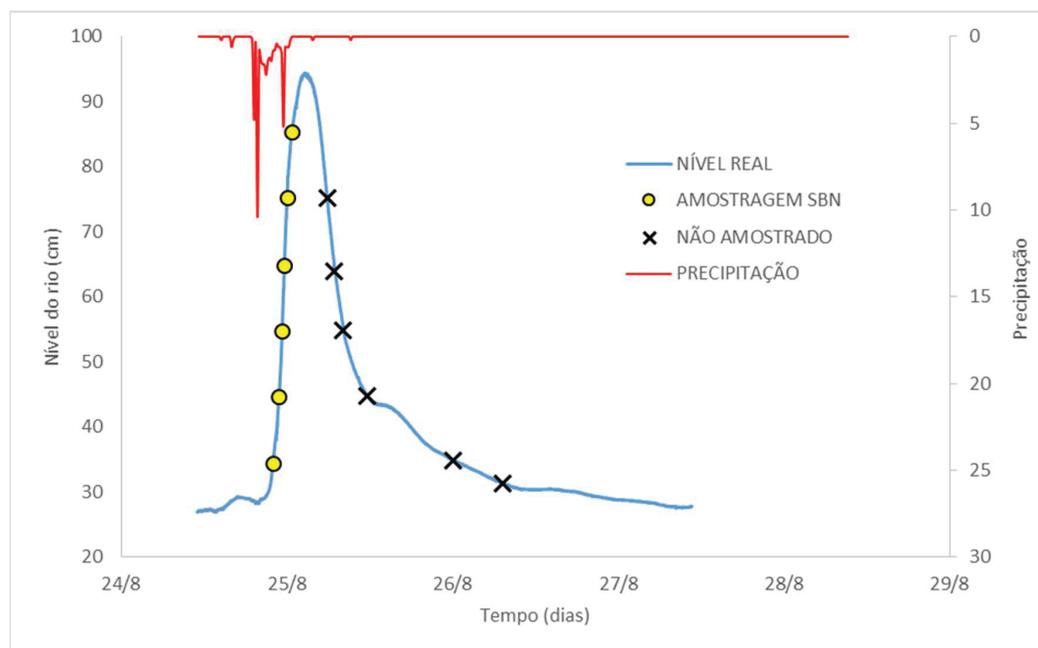
FIGURA 21 – REGISTROS DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO PRIMEIRO EVENTO

LME UFPR - Ipsum Sampler SBn 01			
Date	Time	Supply(V)	
24/08/2018	21:59:01	34.4	Event Start, Initial Level = 31.31
24/08/2018	21:59:02	34.4	Bottle 1, Event Sample
24/08/2018	22:51:01	44.6	Bottle 2, Event Sample
24/08/2018	23:19:01	54.7	Bottle 3, Event Sample
24/08/2018	23:38:01	64.8	Bottle 4, Event Sample
25/08/2018	00:02:01	75.2	Bottle 5, Event Sample
25/08/2018	00:43:01	85.3	Bottle 6, Event Sample
25/08/2018	05:50:01	75.2	Bottle 7, Event Sample
25/08/2018	06:51:01	64.9	Bottle 8, Event Sample
25/08/2018	08:11:01	54.9	Bottle 9, Event Sample
25/08/2018	11:38:01	44.8	Bottle 10, Event Sample
26/08/2018	00:07:01	34.8	Bottle 11, Event Sample
26/08/2018	07:16:01	31.3	Event Stop
26/08/2018	07:16:02	31.3	Bottle 12, Event Sample

FONTE: A autora (2019)

Dessa forma, a bomba foi acionada 12 vezes para a coleta de amostras em todas as mudanças de nível maiores do que 10 cm, tendo sido obtida a seguinte condição de amostragem pelo SBn quando comparada à variação de nível medida do rio (Figura 22).

FIGURA 22 - NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E COLETAS REALIZADAS NO PRIMEIRO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

No contexto de uma amostragem completa, pode-se afirmar que as amostras coletadas representariam de forma bastante fidedigna a realidade do evento, ainda que não houvesse coleta durante o nível mais levado do rio. Contudo, durante a amostragem, um pedaço de galho muito pequeno prendeu-se à válvula de distribuição da garrafa número 6. Na Figura 23 é apresentada a dimensão do objeto quando comparado a uma moeda de R\$ 0,10, tirada a partir de um estereomicroscópio, Celestron, 5 MP Handheld Digital Microscope Pro, com zoom variável de 20 a 200 vezes. Em função da identificação do objeto retido na válvula (Figura 23), constatou-se a sensibilidade do equipamento quanto ao aporte de elementos que possam potencial para o impedimento da abertura ou fechamento das válvulas, ainda que sejam dimensões bastante reduzidas.

FIGURA 23 – OBJETO RETIDO NA VÁLVULA NÚMERO 6



FONTE: A autora (2019)

Devido à presença desse elemento, a válvula número 6 não fechou completamente, fazendo com que as amostras das garrafas subsequentes fossem desviadas. Assim, foram coletadas de forma correta apenas 5 garrafas, não sendo possível confiar na integridade da amostra 6, considerando que este frasco recebeu aporte de todas as leituras que o sucederam. Na

Figura 24 é apresentada a aparência de cada garrafa contendo as amostras.

FIGURA 24 – AMOSTRAS COLETADAS COM O PRIMEIRO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

Como pode ser observado na Figura 22, apesar do travamento da válvula 6, o SBn foi capaz de registrar o aumento do nível da coluna d'água e o início da recessão do nível do rio, que ocorreram entre os dias 24 e 26 de agosto. Fato também confirmado pelas amostras coletadas, conforme apresentado na

Figura 24, em que é apresentada a variação visual da concentração de sólidos suspensos. Entretanto, em função do ocorrido, não foi possível a observação das condições durante o retorno até o nível anterior ao evento. Com isso, justificou-se a necessidade da adoção de medidas para impedir o travamento das válvulas, devido a possibilidade de essa dificuldade poder se tornar um impedimento para a utilização correta do SBn.

A identificação do problema levou à instalação de uma proteção na entrada do distribuidor, conforme apresentado na Figura 25. Este acessório foi confeccionado com tubo de PVC (50 mm de diâmetro) furado e envolto por uma tela de aço inox curado (malha de 1 mm), conforme apresentado na Figura 26. Neste estágio, a adoção desta alternativa supõe que a porosidade da tela instalada permitiria a passagem de sólidos de interesse da pesquisa, retendo apenas os elementos que pudessem interferir no funcionamento das válvulas.

FIGURA 25 – FILTRO INSTALADO NA ENTRADA DO DISTRIBUIDOR DO SBN



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 26 – FILTRO INSTALADO APÓS A PRIMEIRA AMOSTRAGEM



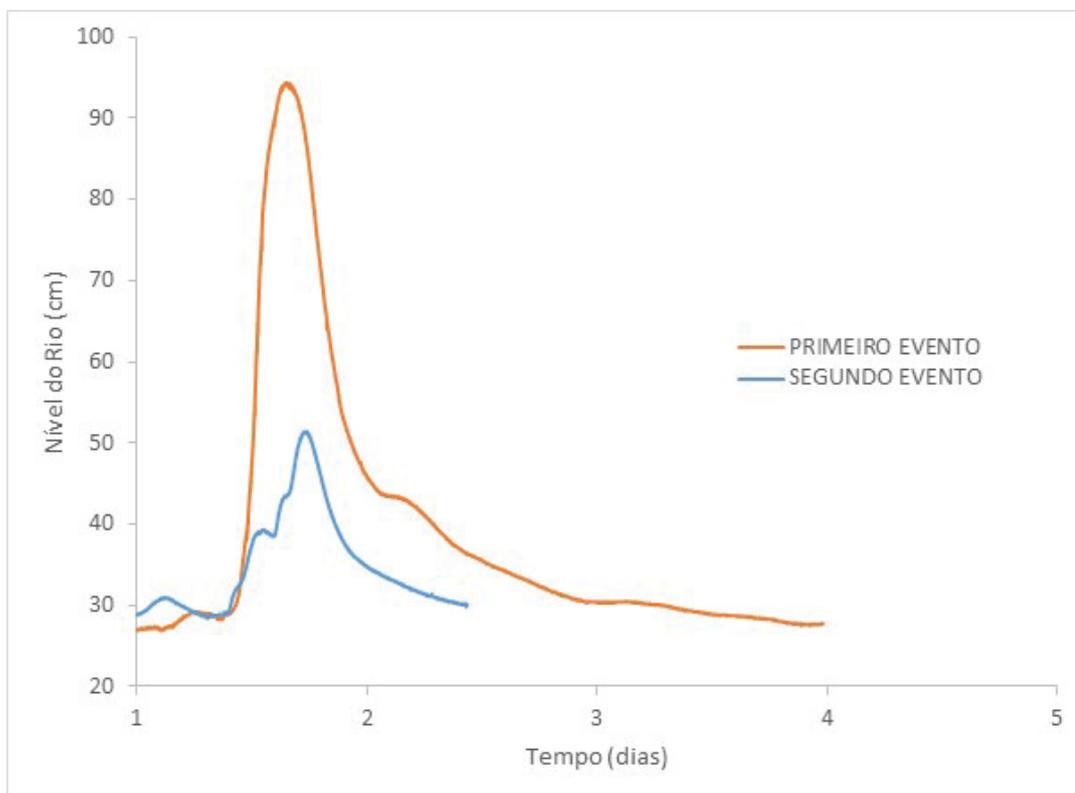
FONTE: A autora (2019)

#### 4.1.2 Segundo evento

O segundo evento de chuva ocorreu entre os dias 02 e 05 de setembro, com precipitação menos intensa, entretanto, com maior duração do que aquela registrada no primeiro evento. Segundo o SIG (2019), para este evento foram registrados 10,8 mm de chuva no dia 2; 18,6 mm no dia 3; 1,8 mm no dia 4 e 0,2 mm no dia 5. Esta característica, isto é, menor intensidade de chuva em um intervalo maior de tempo, não permitiu a observação da variação de 3 cm no nível da coluna d'água em 20 minutos. Dessa forma, apesar de ter somado mais de 30 mm, este evento não gerou programação para iniciar a coleta de amostras pelo SBn.

Na Figura 27 é apresentada a comparação entre a duração do primeiro e segundo eventos e o aumento do nível da coluna d'água.

FIGURA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS EVENTOS DE CHUVA



FONTE: A autora (2019)

Cabe salientar que para o registro da magnitude de um evento com as características apresentadas nas condições observadas, seria necessário alterar a programação de início do evento para 3 cm em 40 minutos, ou mais.

A partir deste evento de chuva, pode ser observado que o filtro concebido e instalado, apresentou oxidação do rebites, pois fica imerso na água. Assim, foi necessário aperfeiçoar a condição para a filtração do material mais grosseiro. Na Figura 28 é apresentada a nova concepção adotada para a proteção das válvulas. Para o novo filtro foi utilizada a mesma malha utilizada no filtro anterior (1 mm), porém agora fixada com fitas Halermann, de plástico.

FIGURA 28 – FILTRO COM AS MUDANÇAS DESENVOLVIDAS



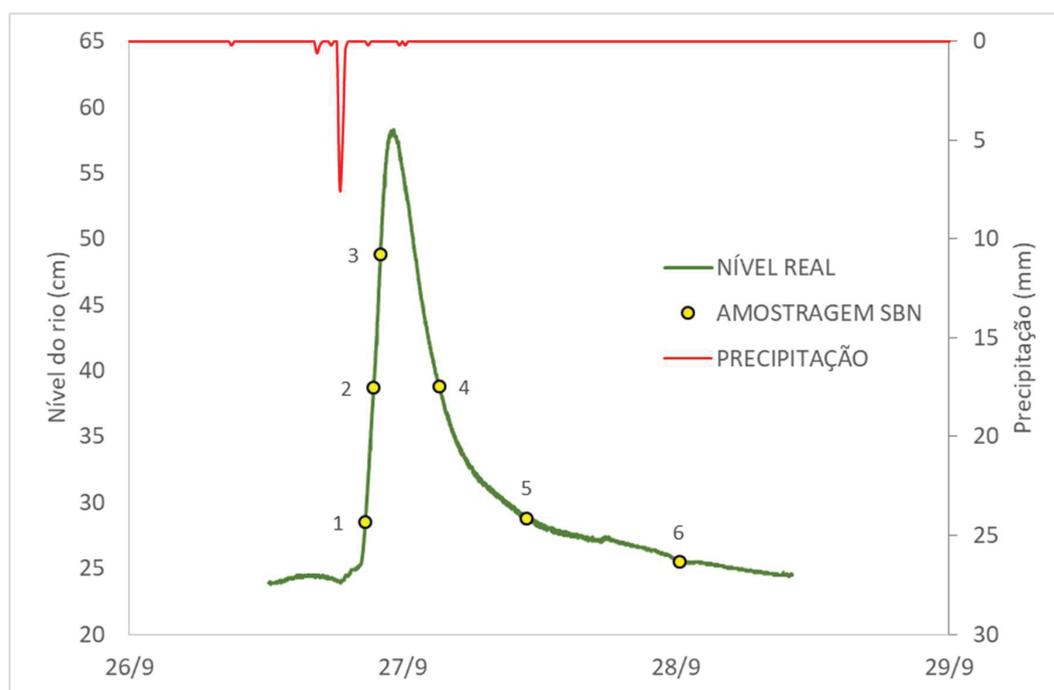
FONTE: A autora (2019)

Mesmo com a ausência de coletas para o segundo evento, optou-se por não modificar a programação de início da amostragem, mantendo-se a variação de 3 centímetros em 20 minutos.

#### 4.1.3 Terceiro evento

Este evento ocorreu no período entre os dias 26 e 28 de setembro de 2018. No dia 27, em Curitiba, foi registrada a precipitação de 14,8 mm (SIG, 2019). A partir dessa perturbação no nível do rio, foram coletadas 6 amostras do evento, como apresentado na Figura 29.

FIGURA 29 – NÍVEL DO RIO PASSAÚNA, PRECIPITAÇÃO E COLETAS NO TERCEIRO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

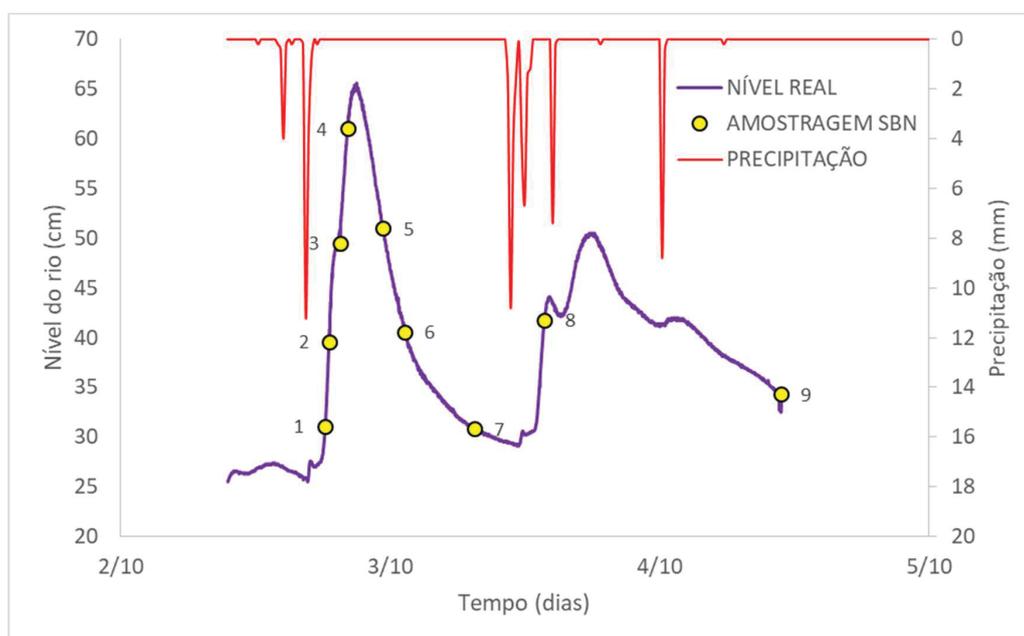
Como pode ser observado na Figura 29, o pico do evento não foi registrado. Portanto, é possível afirmar que a programação do amostrador não é de fácil concepção, pois as características peculiares de cada evento dificultam as considerações para a abordagem da determinação da variação mínima da coluna d'água em função de curto período de tempo. Assim, em função da disponibilidade de dados e da recente utilização do SBn no rio Passaúna, para que seja possível identificar toda a extensão de um evento, a coleta de amostras para identificação de poluição difusa é dependente de um conhecimento mais acurado sobre as características hidrológicas da bacia.

Com base na afirmação anterior, por exemplo, a consideração sobre a redução do intervalo de 10 centímetros na variação no nível d'água, entre cada amostragem, poderia tornar-se efetiva para que o pico do evento não fosse perdido. Por outro lado, essa consideração poderia prejudicar a amostragem de eventos com maior intensidade, uma vez que existe a limitação de 24 garrafas de amostras. Com isso, a programação para a detecção da amostra inicial foi mantida, isto é, 3 cm a cada 20 min, enquanto o intervalo para as amostragens subsequentes foi também mantido em 10 cm.

#### 4.1.4 Quarto evento

Este evento ocorreu no período entre os dias 02 e 04 de outubro de 2018. Durante esse período foram registradas precipitações que somaram um total de 73,6 mm (SIG, 2019). Esta condição gerou um tipo de evento que não havia sido registrado até então, isto é, em um curto espaço de tempo de dois dias foi observada a ocorrência de dois eventos de chuva com intensidade moderada. Na Figura 30 é apresentada a coleta das amostras conforme a mudança do nível do rio.

FIGURA 30 - ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM NO QUARTO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

Como existia a previsão de uma nova chuva de grandes proporções nos dias subsequentes e para não perder a integridade das amostras, decidiu-se ir a campo ainda que o SBn não tivesse finalizado o evento completamente. Além disso, não existia a certeza de interferência da coleta ao pausar o equipamento, dado que até então esse procedimento não tinha sido realizado. Com paralização da programação, houve a interrupção da coleta das informações sobre o evento, fazendo com que o amostrador parasse a coleta e iniciasse uma amostragem quando houve a reinstalação do cartão de memória no equipamento. Portanto, essa ação evidenciou

a necessidade da observação da recessão total do nível do rio antes de pausar o SBn, característica que acaba sendo prejudicial para as coletas quando existem várias chuvas com intervalos de tempo muito curtos entre si.

Na Figura 31 é apresentada a aparência das amostras coletadas no quarto evento de chuva.

FIGURA 31 – AMOSTRAS COLETADAS NO QUARTO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

Como pode ser observado na Figura 31, houve aumento de cor e turbidez na garrafa 8, logo após a recessão do nível da coluna d'água no primeiro sub-evento. Essa singularidade indica um novo carreamento de sólidos, sem, contudo, atingir a mesma intensidade de coloração da garrafa 3, na elevação do primeiro sub-evento. Esse fato pode ser atribuído à ausência da coleta da garrafa mais próxima do pico do segundo sub-evento ou à maior duração e menor intensidade da segunda precipitação. Outra possibilidade é a de uma possível isonomia dos níveis das garrafas 6 e 8. Contudo, essa perspectiva pode ser facilmente contestada a partir da análise das amostras 3 e 5, que apresentam características completamente divergentes, apesar de também serem coletadas aproximadamente no mesmo nível

#### 4.1.5 Quinto evento

Com a interrupção do funcionamento do equipamento antes do final do quarto evento, o SBn acabou coletando duas amostras ainda referentes ao evento anterior. Finalizado o evento anterior, a amostragem de um novo evento de menores proporções foi iniciada.

Este evento ocorreu no período entre os dias 05 e 09 de outubro de 2018. Segundo o SIG (2019), foram registradas precipitações nos dias 06, 07 e 08 que totalizaram 35,6 mm. Assim, conforme apresentado na Figura 32, houve amostragem deste evento de menor intensidade, o que pode ser observado nas garrafas 3 a 9.

FIGURA 32 – AMOSTRAS COLETADAS EM EVENTO DE MENOR INTENSIDADE



FONTE: A autora (2019)

Contudo, antes da completa recessão do rio e consequente finalização do evento, uma precipitação de 24,2 mm foi registrada no dia 10 de outubro seguida de 3,8 mm no dia 11 de outubro (SIG, 2019).

Em função de ter sido aguardada a finalização deste evento e, consequente registro pelo SBn antes de pausá-lo, a coleta de amostras relativas a uma precipitação de grande intensidade foi perdida ao ser atingido o limite de 24 garrafas disponíveis no equipamento.

Na Figura 33 é apresentada a programação para a amostragem pelo SBn para este evento.

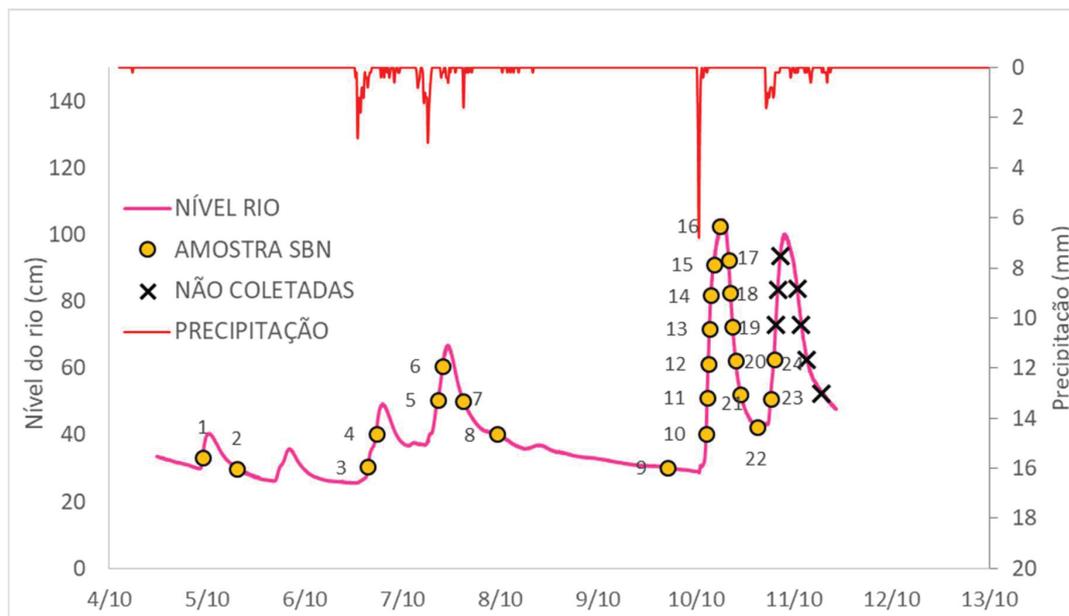
FIGURA 33 – REGISTROS DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO QUINTO EVENTO

04/10/2018,22:59:01	33.3,Event Start, Initial Level = 29.95
04/10/2018,22:59:02	33.3,Bottle 1,Event Sample
05/10/2018,07:22:01	29.9,Event Stop
05/10/2018,07:22:02	29.9,Bottle 2,Event Sample
06/10/2018,15:33:01	30.4,Event Start, Initial Level = 27.33
06/10/2018,15:33:02	30.4,Bottle 3,Event Sample
06/10/2018,17:33:01	40.5,Bottle 4,Event Sample
07/10/2018,08:39:01	50.6,Bottle 5,Event Sample
07/10/2018,09:52:01	60.7,Bottle 6,Event Sample
07/10/2018,14:49:01	50.3,Bottle 7,Event Sample
07/10/2018,23:13:01	40.3,Bottle 8,Event Sample
09/10/2018,17:09:01	30.3,Bottle 9,Event Sample
10/10/2018,02:33:01	40.4,Bottle 10,Event Sample
10/10/2018,02:48:01	51.3,Bottle 11,Event Sample
10/10/2018,03:03:01	61.4,Bottle 12,Event Sample
10/10/2018,03:20:01	71.8,Bottle 13,Event Sample
10/10/2018,03:43:01	81.9,Bottle 14,Event Sample
10/10/2018,04:31:01	92.1,Bottle 15,Event Sample
10/10/2018,05:58:01	102.6,Bottle 16,Event Sample
10/10/2018,08:04:01	92.5,Bottle 17,Event Sample
10/10/2018,08:33:01	82.5,Bottle 18,Event Sample
10/10/2018,09:03:01	72.3,Bottle 19,Event Sample
10/10/2018,09:48:01	62.2,Bottle 20,Event Sample
10/10/2018,11:00:01	52.2,Bottle 21,Event Sample
10/10/2018,14:58:01	42.2,Bottle 22,Event Sample
10/10/2018,18:26:01	52.2,Bottle 23,Event Sample
10/10/2018,19:09:01	62.7,Bottle 24,Event Sample
10/10/2018,19:37:01	73.1,Bottle N/A,Event Sample
10/10/2018,20:07:01	83.6,Bottle N/A,Event Sample
10/10/2018,20:44:01	93.7,Bottle N/A,Event Sample
11/10/2018,00:56:01	83.0,Bottle N/A,Event Sample
11/10/2018,01:56:01	72.8,Bottle N/A,Event Sample
11/10/2018,03:18:01	62.6,Bottle N/A,Event Sample
11/10/2018,06:56:01	52.5,Bottle N/A,Event Sample

FONTE: A autora (2019)

Conforme apresentado na Figura 33, pode-se observar que houve perda de metade da subida do nível da coluna d'água no dia 11, além de toda a recessão. Para melhor ilustrar, na Figura 34 o aumento do nível da coluna d'água e as coletas das amostras são apresentadas.

FIGURA 34 – NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO, AMOSTRAS COLETADAS E NÃO COLETADAS NO QUINTO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

Com isso, ficou evidenciada, novamente, a dificuldade de coletar amostras com eventos de chuva próximos sem interromper o funcionamento do equipamento durante a ocorrência do evento. Caso não fossem coletadas as amostras relativas à menor intensidade, as precipitações dos dias 10 e 11 poderiam ter sido amostradas com 22 garrafas, no limite da capacidade do SBn. Esta coleta poderia ter sido mais relevante para o escopo deste trabalho, dada a intensidade da elevação do rio e do grande aumento no escoamento superficial, conforme apresentado na Figura 35. Ainda assim, manteve-se a programação do SBn para início das amostragens a 3 centímetros de aumento do nível da coluna d'água em 20 minutos. As amostragens subsequentes foram mantidas para intervalos de 10 cm, sendo que foi procurado evitar a interrupção da amostragem dos eventos antes da recessão completa do nível do rio.

FIGURA 35 – AMOSTRAS DOS EVENTOS DO DIA 10 E 11/10

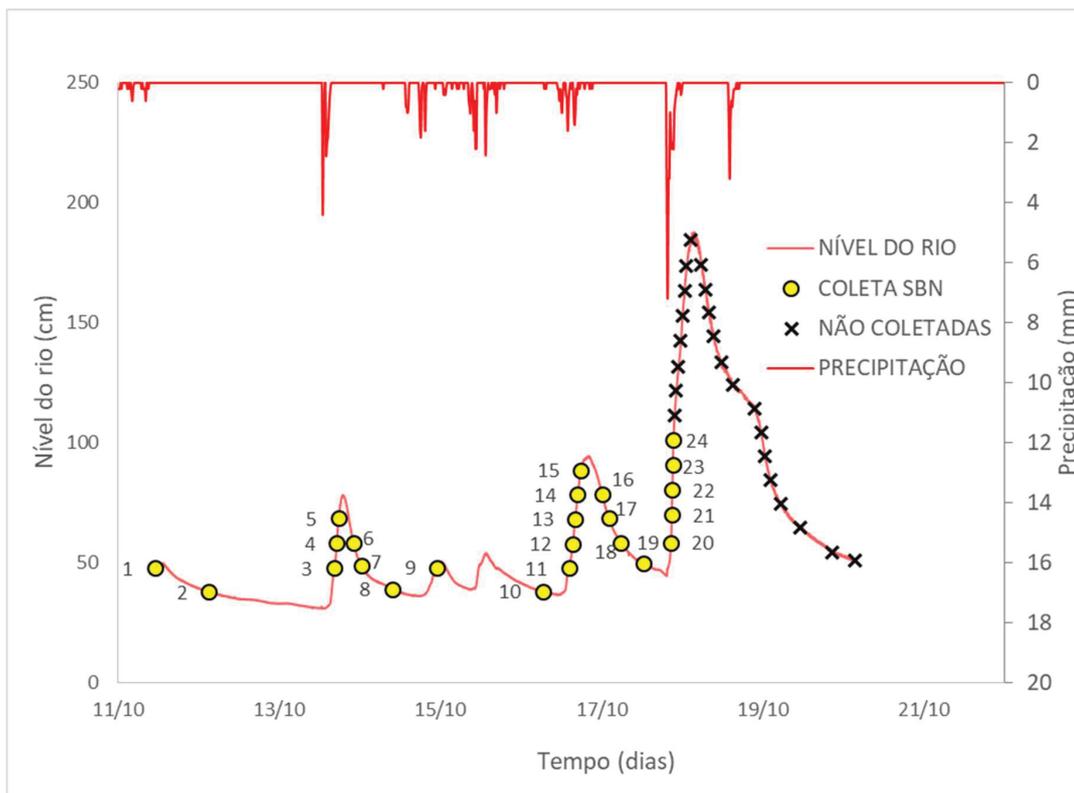


FONTE: A autora (2019)

#### 4.1.6 Sexto evento

De forma semelhante aos dias 11 e 12 de outubro, diversas precipitações ocorreram no período entre os dias 13 e 18 de outubro na região onde o SBn está instalado, somando 97,4 mm de precipitação (SIG, 2019). Novamente, na tentativa de evitar distúrbios em relação à ocorrência do evento, adiou-se a ida a campo diversas vezes, pois chuvas de grande intensidade ocorriam em Curitiba e Região Metropolitana. Com isso, dois eventos de intensidade comparável ao primeiro registrado foram amostrados, o que utilizou 19 garrafas, das 24 disponíveis. Nas condições observadas para este evento, o nível do rio atingiu aproximadamente 1 m, conforme apresentado na Figura 36.

FIGURA 36 – ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM NO SEXTO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

Como pode ser observado na Figura 37, a amostra 4 apresentou, visualmente, grande alteração das características de turbidez em relação ao evento que ocorreu no dia 14 de outubro. Por outro lado, as amostras 1 e 2 podem estar associadas à recessão do evento ocorrido no dia 12. Na Figura 38 são apresentadas as amostras 10 a 19, contudo, quando comparadas àquelas apresentadas na Figura 39, pode-se observar maior homogeneidade na coloração.

FIGURA 37 – AMOSTRAS 1 A 9 DO SEXTO EVENTO DE CHUVA



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 38 – AMOSTRAS 10 A 19 DO SEXTO EVENTO DE CHUVA



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 39 – AMOSTRAS COLETADAS NO SEXTO EVENTO

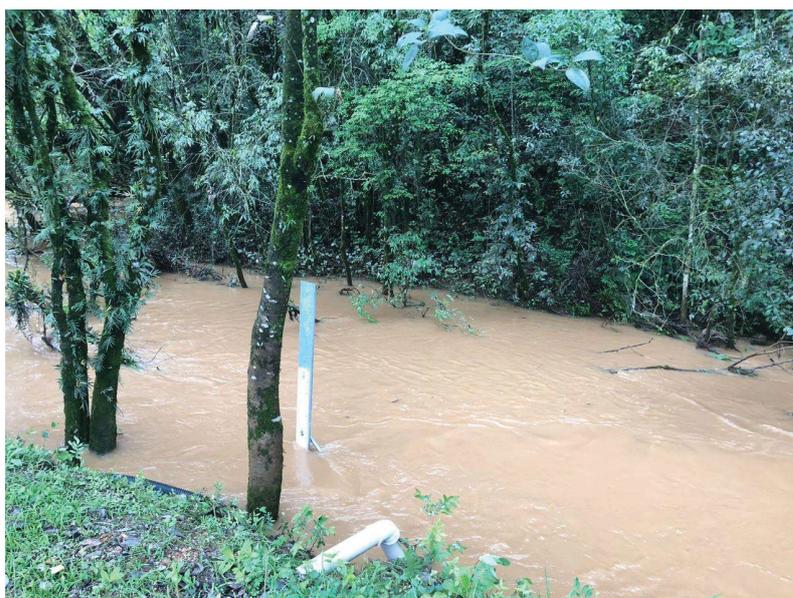


FONTE: A autora (2019)

Segundo o SIG (2019), nos dias 17 e 18 de outubro somaram-se mais de 38,4 mm de chuva na região de Curitiba, enquanto o nível do rio ultrapassou a marca de 1,87 m de profundidade durante o pico da elevação. Parte do aumento do nível relativo a este evento foi amostrado nas garrafas 20 a 24, conforme apresentado na Figura 39. Como pode ser observado, ocorreu uma considerável modificação das características do rio. Na ida ao campo no dia 18, a água ainda apresentava coloração escura e profundidade superior a 1,40 m. Nesta oportunidade também foi observada modificação perceptível no reservatório, com mudança na coloração da água e aumento de nível.

Na Figura 40 e Figura 41 são apresentadas as condições do rio na manhã do dia 18 de outubro.

FIGURA 40 – PONTO P1 DURANTE A RECESSÃO DA CHEIA



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 41 – SITUAÇÃO DO RIO DURANTE A CHEIA



FONTE: A autora (2019)

Apesar da ausência de coletas, a avaliação do nível do rio neste evento de grande magnitude trouxe conclusões quanto à amostragem levada a efeito pelo SBn no rio Passaúna. Mesmo que todas as garrafas estivessem disponíveis para a coleta de amostras, o número não teria sido suficiente para amostrar eventos com características semelhantes. Para o aumento do nível do rio, teriam sido realizadas 13 amostragens, somadas a mais 12 para a recessão. Isso se não tivesse ocorrido nenhum outro evento de chuva moderada no intervalo considerado. Dessa forma, com o intervalo de 10 cm a cada coleta, poderiam ser perdidas novas amostras significativas.

Na Figura 42 são apresentados os registros das coletas realizadas automaticamente pelo SBn durante o sexto evento. Como pode ser observado, uma grande parcela das amostras é relacionada a picos secundários, anteriores ao pico principal de nível (184,3 cm), que não foi amostrado.

FIGURA 42 – REGISTROS DA AMOSTRAGEM REALIZADA NO SEXTO EVENTO

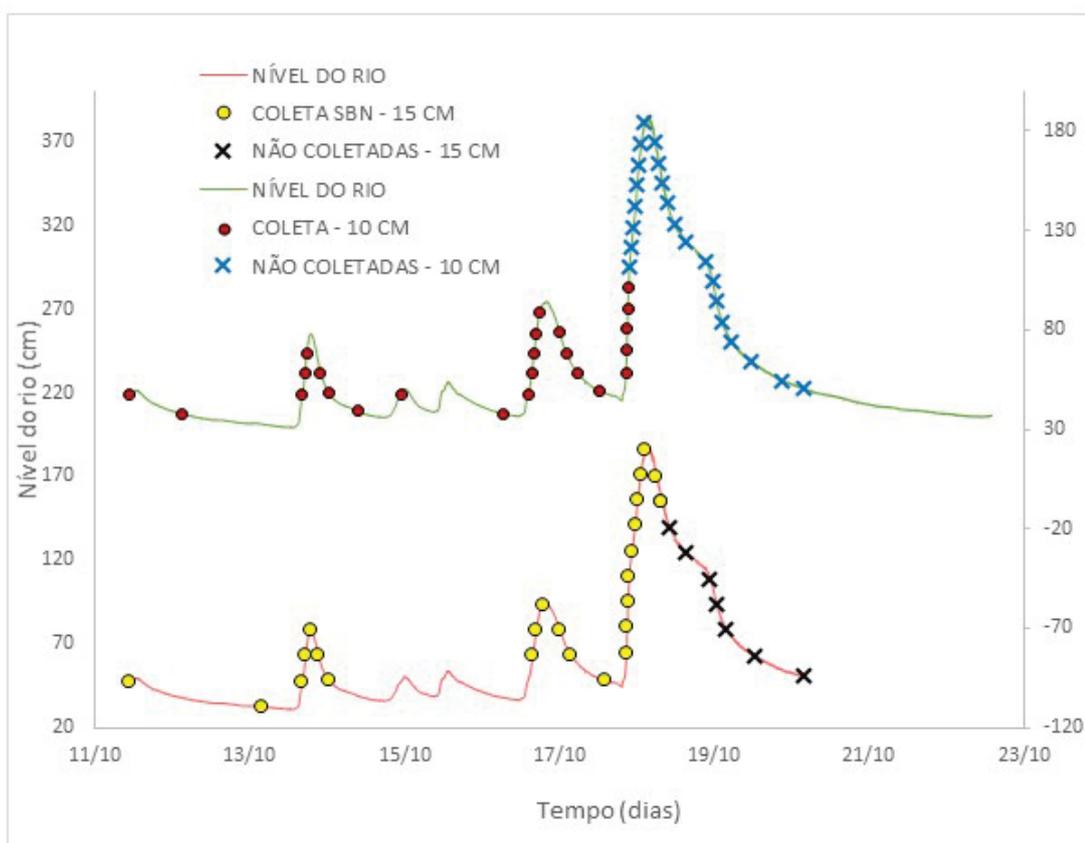
11/10/2018,10:54:01	47.7,Event Start, Initial Level = 27.30
11/10/2018,10:54:02	47.7,Bottle 1,Event Sample
12/10/2018,03:07:01	37.7,Bottle 2,Event Sample
13/10/2018,16:27:01	47.7,Bottle 3,Event Sample
13/10/2018,17:09:01	58.1,Bottle 4,Event Sample
13/10/2018,17:46:01	68.4,Bottle 5,Event Sample
13/10/2018,22:06:01	58.4,Bottle 6,Event Sample
14/10/2018,00:40:01	48.3,Bottle 7,Event Sample
14/10/2018,09:48:01	37.9,Bottle 8,Event Sample
14/10/2018,23:06:01	47.9,Bottle 9,Event Sample
16/10/2018,06:31:01	37.8,Bottle 10,Event Sample
16/10/2018,14:18:01	47.8,Bottle 11,Event Sample
16/10/2018,15:29:01	57.9,Bottle 12,Event Sample
16/10/2018,16:13:01	68.2,Bottle 13,Event Sample
16/10/2018,16:59:01	78.3,Bottle 14,Event Sample
16/10/2018,17:54:01	88.5,Bottle 15,Event Sample
17/10/2018,00:12:01	78.5,Bottle 16,Event Sample
17/10/2018,02:14:01	68.4,Bottle 17,Event Sample
17/10/2018,05:41:01	58.4,Bottle 18,Event Sample
17/10/2018,12:30:01	48.3,Bottle 19,Event Sample
17/10/2018,20:46:01	58.4,Bottle 20,Event Sample
17/10/2018,21:00:01	69.8,Bottle 21,Event Sample
17/10/2018,21:10:01	80.3,Bottle 22,Event Sample
17/10/2018,21:19:01	90.8,Bottle 23,Event Sample
17/10/2018,21:31:01	101.2,Bottle 24,Event Sample
17/10/2018,21:52:01	111.4,Bottle N/A,Event Sample
17/10/2018,22:24:01	121.6,Bottle N/A,Event Sample
17/10/2018,23:03:01	131.7,Bottle N/A,Event Sample
17/10/2018,23:42:01	142.4,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,00:14:01	153.0,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,00:48:01	163.2,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,01:26:01	173.5,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,02:32:01	184.3,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,05:49:01	174.3,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,06:55:01	163.8,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,08:08:01	152.8,Bottle N/A,Event Sample
18/10/2018,09:35:01	142.6,Bottle N/A,Event Sample

FONTE: A autora (2019)

Com isso, visando à coleta integral de um evento intenso, e a partir da previsão de grandes tempestades para os dias que seguiram, a programação para as coletas foi alterada para um intervalo de variação de nível de 15 cm. Entretanto, mesmo que este intervalo tivesse sido utilizado para o sexto evento, ainda não seria possível amostrá-lo completamente. Contudo, seriam perdidas apenas 7 amostras referentes à recessão do rio. Supostamente, teria sido possível amostrar, inclusive, o

pico de maior nível registrado, isto é, 184,3 cm (Figura 42). Esta condição, juntamente com a amostragem realizada com intervalo de 10 cm é apresentada na Figura 43.

FIGURA 43 – CONSIDERAÇÃO SOBRE POSSÍVEL AMOSTRAGEM COM VARIAÇÃO NO NÍVEL DO RIO DE 15 CM

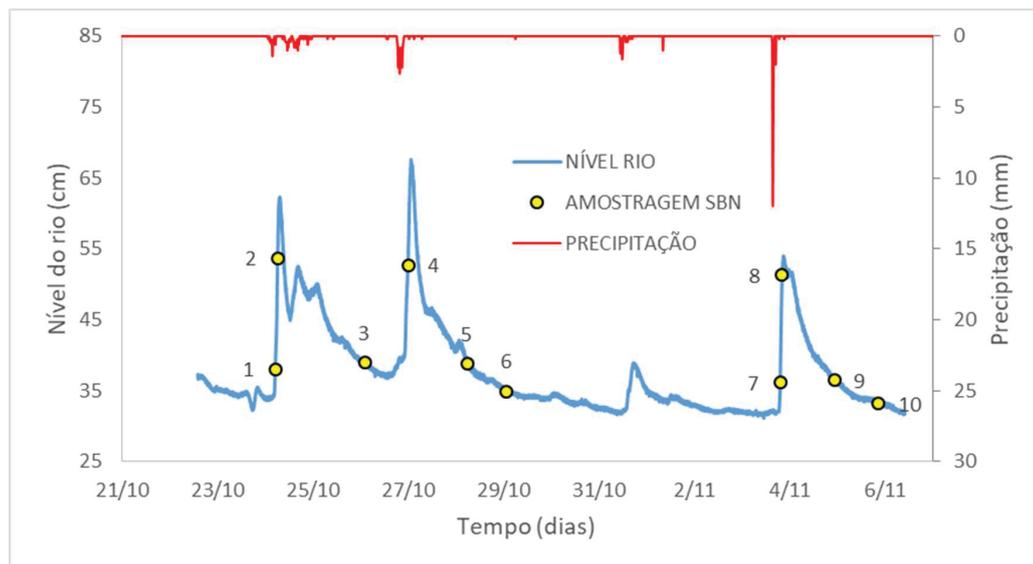


FONTE: A autora (2019)

#### 4.1.7 Sétimo evento

Entre os dias 21 de outubro e 6 de novembro, somou-se mais de 72 mm de precipitação na região onde o equipamento está instalado (SIG, 2019). O SBn efetuou a coleta de 10 amostras, registrando a existência de 3 eventos de chuva nesse período, aumentando o nível do rio para aproximadamente 65 cm, como apresentado na Figura 44.

FIGURA 44 - ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E COLETAS PARA O SÉTIMO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

Na Figura 45 é apresentada a característica das amostras coletadas, observando-se que, como consequência deste evento não houve transporte considerável de sólidos, com a exceção da primeira elevação da vazão, coletada nas garrafas 1 e 2.

FIGURA 45 - AMOSTRAS COLETADAS NO SEXTO EVENTO



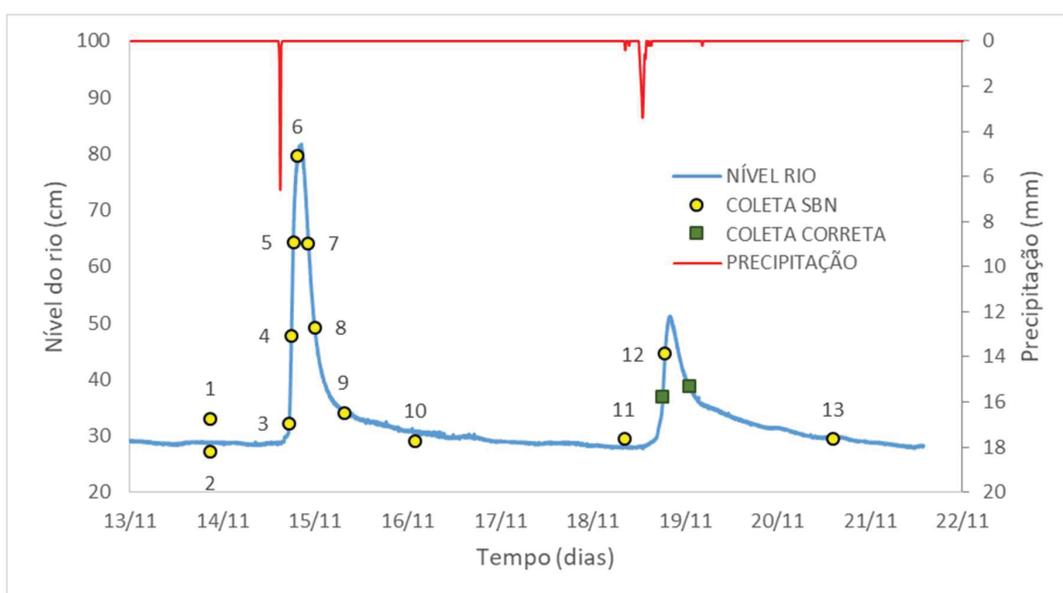
FONTE: A autora (2019)

#### 4.1.8 Oitavo evento

Entre os dias 13 e 21 de novembro, somou-se precipitação de 21 mm no entorno do ponto P1 (SIG, 2019). Essa chuva provocou alteração no nível do rio que geraria 9 amostragens com a programação de coletas a cada 15 cm de variação de

nível. Houve, contudo, falhas no processador do SBn que fizeram o sensor de nível identificar variações superiores a 3 cm no intervalo de 1 minuto, gerando coleta de eventos inexistentes e totalizando 13 amostras. Essa situação é ilustrada na Figura 46, onde é possível verificar, que após a consistência dos dados, as coletas 1, 2, 10 e 11 se localizam em níveis não ocorrentes. Para a segunda variação de nível a coleta ocorreu de forma incorreta, sendo que, em situação comum de amostragem, esta seria realizada nas posições destacadas com os quadrados. Apesar de a falha resultar em inconsistências na amostragem, esta não prejudicou a coleta integral do evento.

FIGURA 46 – ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E COLETAS PARA O OITAVO EVENTO

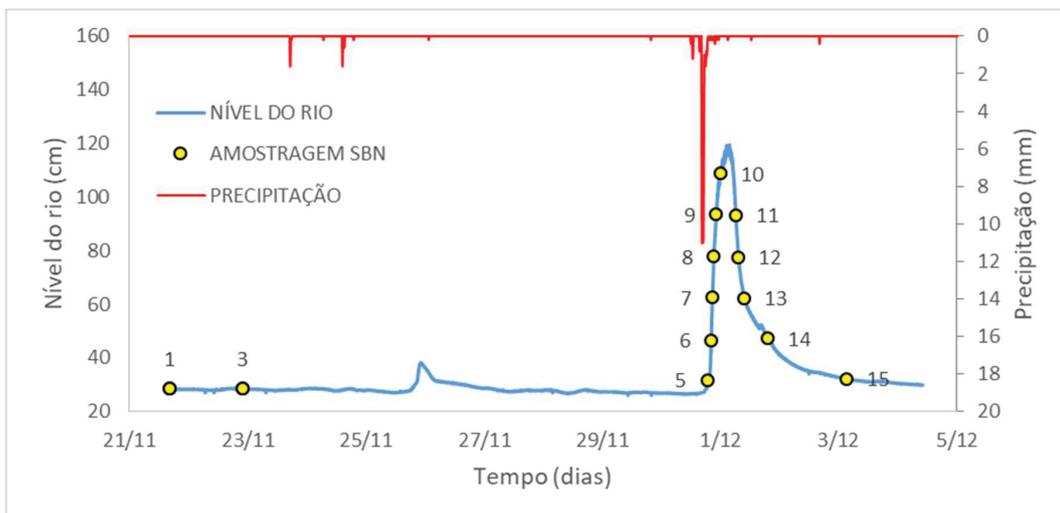


FONTE: A autora (2019)

#### 4.1.9 Nono evento

Assim como no oitavo evento, falhas no SBn deram início a coletas de eventos inexistentes, gerando amostragem de 4 garrafas. Na Figura 47 é possível observar que as garrafas 1 a 4 foram preenchidas em um período extenso de seca. As amostras 2 e 4 coincidiam temporal e espacialmente com as amostras 1 e 3, respectivamente, por isso não aparecem na Figura 47.

FIGURA 47 – ALTERAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM PARA O NONO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

De qualquer forma, a coleta incorreta serviu para identificar a condição do rio no escoamento base, sem gerar prejuízos a amostragem como um todo. Na Figura 48 e Figura 49 são apresentadas as condições das amostras do período de seca e as amostras referentes ao evento iniciado no dia 01 de dezembro.

FIGURA 48 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS DURANTE O PERÍODO DE SECA



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 49 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS DURANTE NONO EVENTO



FONTE: A autora (2019)

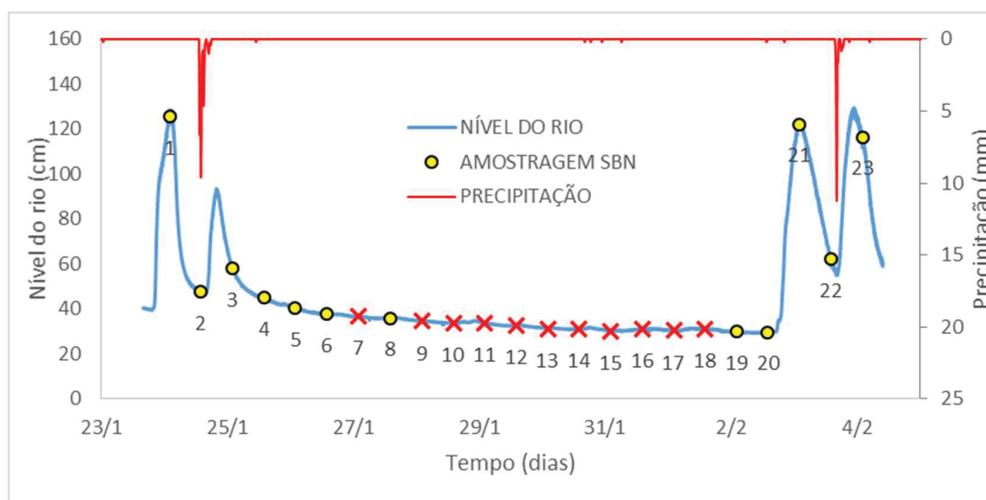
Com a amostragem do nono evento, decidiu-se encerrar as coletas de eventos de chuva utilizando o SBn. Devido aos problemas ocorridos e já previamente citados, o equipamento foi retirado do campo para que manutenção e reparos técnicos fossem realizados.

#### 4.1.10 Séries de seca

Após a retirada do SBn do campo foram realizadas diversas etapas de manutenção, como limpeza das válvulas, troca do sistema de bombeamento, reparo de problemas na placa de comando, entre outros. Para entender as condições do rio no período de seca, iniciou-se a amostragem a partir da programação por tempo ao invés da utilizada até o momento (por evento). Com isso, delimitou-se que as amostragens ocorreriam às 14h e 2h, buscando evitar precipitações de verão que costumam ocorrer no fim da tarde.

Idealmente, as séries de seca deveriam ser realizadas em momentos com longos períodos sem precipitações, como os meses de junho e julho. Entretanto, as limitações que são aplicadas a um trabalho de mestrado impediram a realização de coletas nesse período do ano. Dessa forma, buscou-se momentos sem chuva entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019, obtendo-se duas séries de 24 garrafas, sendo a primeira expressa na Figura 50.

FIGURA 50 – VARIACÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM DE SÉRIE DE SECA 1 - DOS DIA 23/01 A 04/02



FONTE: A autora (2019)

A partir dos dados apresentados na Figura 50, é possível observar que a série coletada seria em um período longo de seca e poderia representar de forma representativa parte do escoamento base do rio. Contudo, em função de uma interferência externa, o sistema de filtração do equipamento foi aberto e fechado inadequadamente. Com isso, partículas de maior dimensão atingiram as válvulas 7 e todas do conjunto 9 a 18 que tiveram sua operação comprometidas. Além disso, as amostras 1, 2, 3, 21, 22 e 23 foram coletadas em momentos onde havia a ocorrência de eventos de chuva. Assim, para a consideração do escoamento base do rio, foram utilizadas as amostras coletadas nas garrafas 4, 5 e 6. Na Figura 51 são apresentadas as coletas realizadas para esta série de seca. Pode-se observar a coloração muito intensa da amostra 8, indicando que esta deve ter sido preenchida durante um dos eventos de chuva, por problemas no fechamento da válvula. Dessa forma, essa amostra também foi desprezada para a análise de seca.

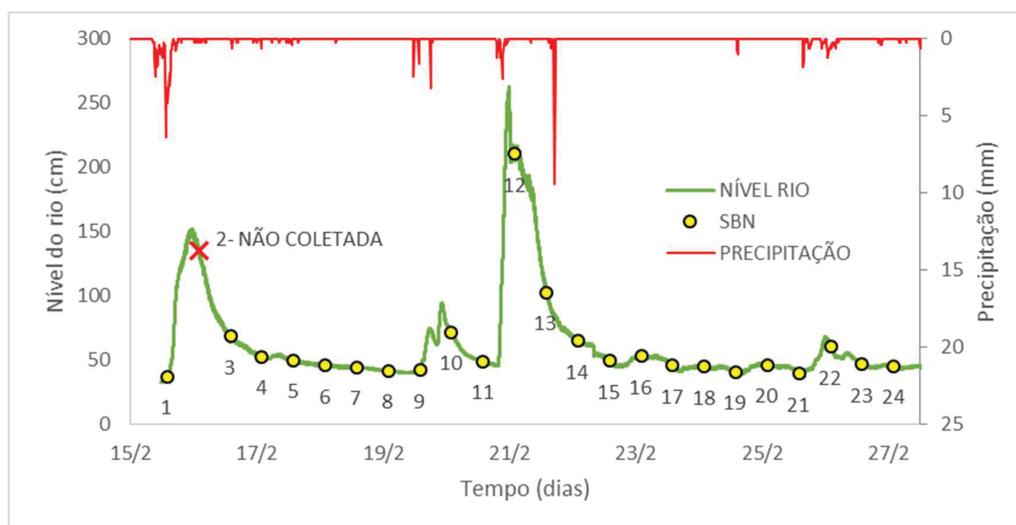
FIGURA 51 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS COLETADAS PARA A PRIMEIRA SÉRIE DE SECA



FONTE: A autora (2019)

Como a falha na amostragem foi causada por interferência externa, não foi necessário alterar a programação ou sistema de bombeamento do SBn. Contudo, realizou-se a limpeza de todas as válvulas para permitir o seu correto fechamento. Feito isso, o equipamento foi reinstalado e iniciou-se a programação de coleta por intervalo de tempo. Dessa forma, após 12 dias em operação, o SBn coletou 23 amostras (Figura 52).

FIGURA 52 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO, PRECIPITAÇÃO E AMOSTRAGEM DE SÉRIE DE SECA DOS DIA 15/02 A 27/02



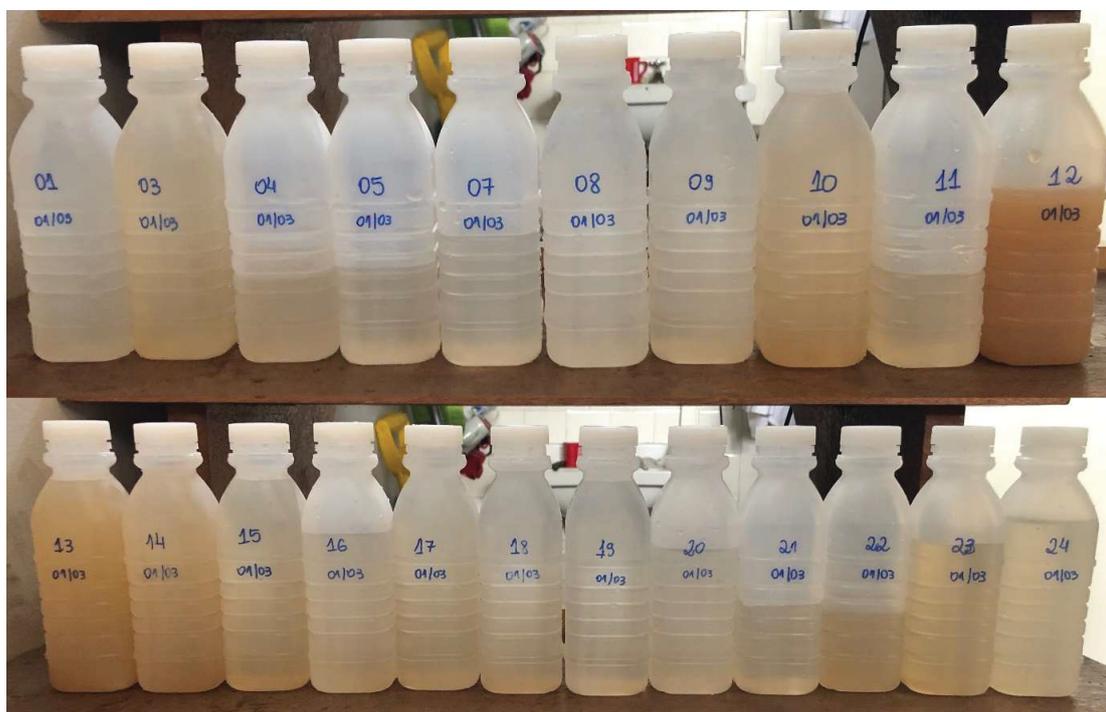
FONTE: A autora (2019)

Na Figura 51 é possível observar a ocorrência de um evento de proporções até então não observadas no dia 21 de fevereiro, no qual o nível do rio ultrapassou 2,5m de profundidade, após precipitação de 38,6 mm (SIG, 2019).

Apesar da ocorrência de precipitações intensas durante os 12 dias de coleta, pode-se dizer que o escoamento base foi coletado nas amostras de 4 a 9. As coletas 15 a 24 também podem ser consideradas como adequadas, porém com ressalvas, pois foram realizadas após uma significativa mudança nas características do rio.

Na Figura 53 são apresentadas as condições visuais da amostragem para a segunda série seca registrada.

FIGURA 53 – APARÊNCIA DAS GARRAFAS COLETADAS PARA A SEGUNDA SÉRIE DE SECA



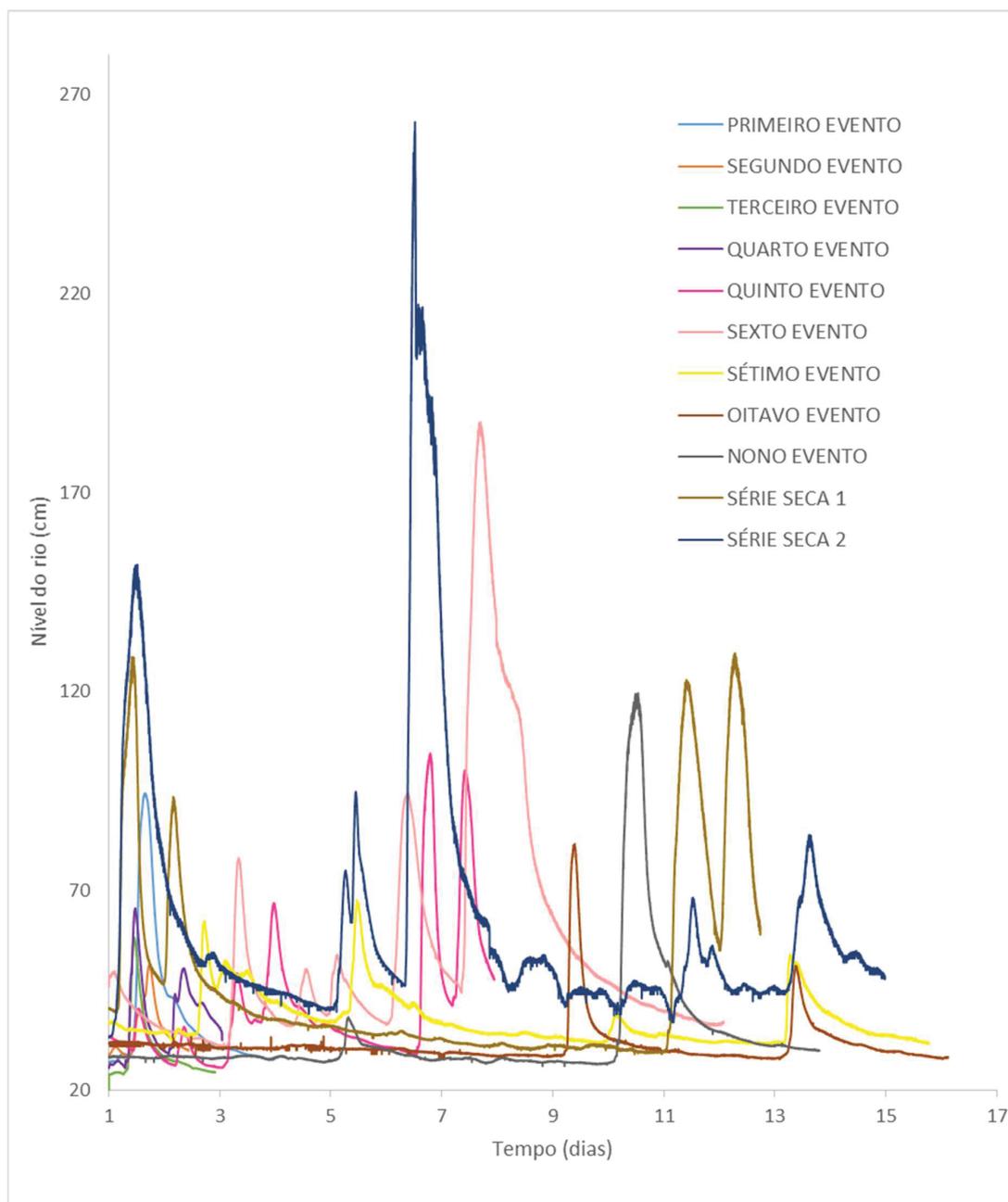
FONTE: A autora (2019)

Após a coleta das duas séries de seca, o distribuidor do SBn foi retirado do campo e o equipamento permaneceu operando apenas como leitor de nível, sem realizar amostragens.

#### 4.1.11 Comparação entre os níveis dos eventos

Na Figura 54 é apresentada a comparação entre todos os eventos ocorridos durante o período de funcionamento do equipamento SBn.

FIGURA 54 – COMPARAÇÃO ENTRE TODOS OS EVENTOS AMOSTRADOS



FONTE: A autora (2019)

A análise da Figura 54 permite afirmar que a maior elevação do nível do rio aconteceu exatamente na segunda série de seca. As precipitações do dia 21/02/2019 elevaram o rio a maior profundidade registrada até então: 2,63m.

Para melhor entendimento dos resultados das análises de laboratório que serão apresentadas a seguir é necessário, além da comparação entre intensidades, a

avaliação das características do evento, como: regime hidrológico anterior ao evento, intensidade e duração do pico, presença de chuvas durante a recessão, duração da chuva, entre outros. Assim, as variações das curvas de concentração, que serão apresentadas nos itens subsequentes, são de grande validade, uma vez que levam em consideração esses aspectos.

Neste sentido, a Figura 54 é de grande utilidade para ilustrar a variedade de intensidades que o SBn é capaz de coletar no modo evento e no modo tempo. Eventos de menor proporção, que elevam o rio a próximo de 70 cm, foram bem amostrados, tanto quanto eventos de maior intensidade, como os que ultrapassaram 2 m de profundidade. Essa versatilidade é de grande valia para o estudo da poluição difusa, dada a imprevisibilidade das precipitações. Ainda que dados de satélite possam informar com certa precisão a ocorrência de chuvas, ainda é muito difícil o entendimento de suas consequências no corpo hídrico, dado a variabilidade de condições hidrológicas.

## 4.2 RESULTADOS HIDROLÓGICOS

### 4.2.1 Separação do escoamento superficial

De acordo com o método apresentado no item 3.7, determinou-se o escoamento superficial de todos os eventos e a parcela amostrada pelo SBn neste volume. Na Tabela 4 são apresentados os resultados dessa variável para todos os eventos.

TABELA 4 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL NOS OITO EVENTOS

(CONTINUA)

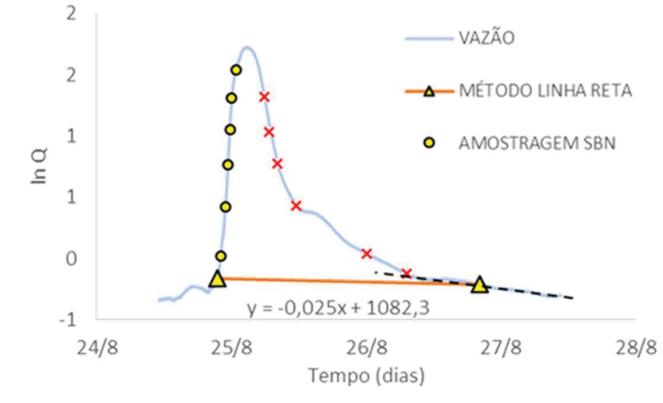
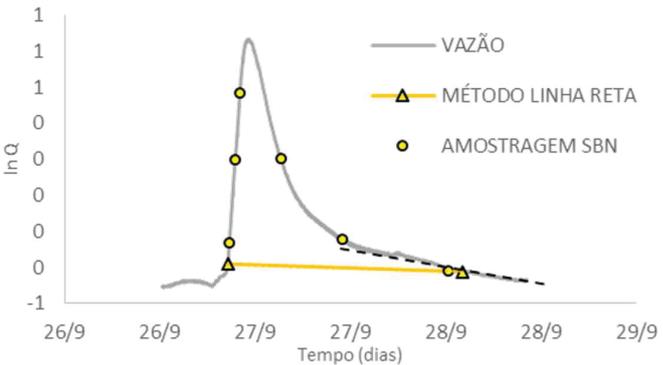
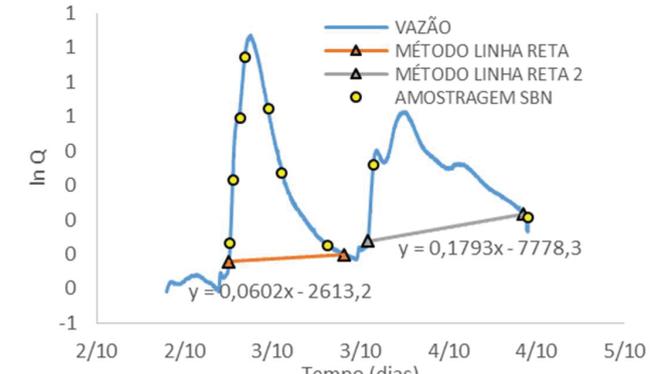
EVENTO	SEPARAÇÃO HIDROGRAMA	CONDIÇÃO DA AMOSTRAGEM
1		<p>Volume superficial: <b>233.983,4 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBn: <b>21.932,56 m<sup>3</sup> = 9,37%</b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBn com as 12 garrafas: <b>208.442 m<sup>3</sup> = 89,09%</b></p>
3		<p>Volume superficial: <b>91.791,28 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBn: <b>88.032,04 m<sup>3</sup> = 95,9%</b></p>
4		<p>Volume superficial: <b>146.247,7 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBn: <b>145.821,4 m<sup>3</sup> = 99,71%</b></p>

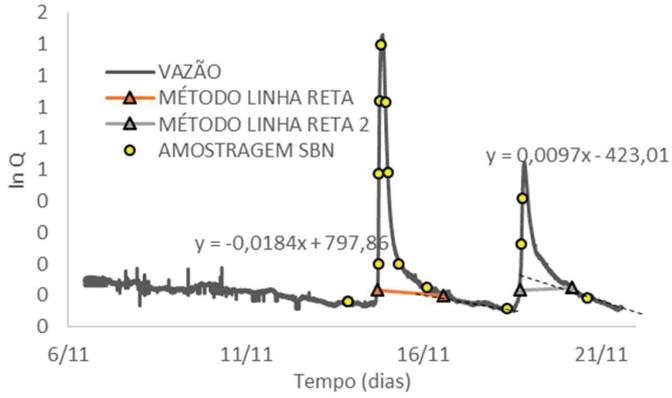
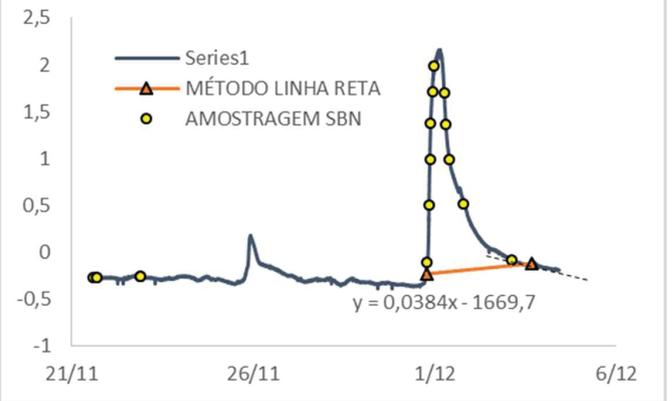
TABELA 4 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL NOS OITO EVENTOS

(CONTINUA)

5	<p>           ● AMOSTRAGEM SBN            — vazão            ▲ método 1            ▲ método 2            ▲ método 3            ▲ método 4         </p> <p> <math>y = -0,1002x + 4344,7</math>  <math>y = -0,0831x + 3602,8</math>  <math>y = 0,1027x - 4456</math>  <math>y = -0,0323x + 1400,5</math> </p>	<p>Volume superficial:  <b>608.713,4 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBN:  <b>360.484,9 m<sup>3</sup> = 59,22%</b></p> <p>Escoamento base amostrado pelo SBN:  <b>76.697,51 m<sup>3</sup></b></p>
6	<p>           — Vazão            ▲ método 1            ▲ método 2            ● AMOSTRAGEM SBN         </p> <p> <math>y = 0,0354x - 1536,2</math>  <math>y = -0,0086x + 371,72</math> </p>	<p>Volume superficial:  <b>2.006.279,0 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBN:  <b>495.410,8 m<sup>3</sup> = 24,69%</b></p>
7	<p>           — VAZÃO            ▲ MÉTODO LINHA RETA 1            ▲ MÉTODO 2            ▲ MÉTODO 3            ▲ MÉTODO 4            ● AMOSTRAGEM SBN         </p> <p> <math>y = 0,0591x - 2565</math>  <math>y = -0,0875x + 3796,1</math>  <math>y = -0,018x + 779,52</math>  <math>y = 0,0284x - 1233,3</math> </p>	<p>Volume superficial:  <b>530.319,0 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBN:  <b>530.003,0 m<sup>3</sup> = 99,94%</b></p> <p>Escoamento base amostrado pelo SBN:  <b>92.324,0 m<sup>3</sup></b></p>

TABELA 4 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL NOS OITO EVENTOS

(CONCLUSÃO)

8		<p>Volume superficial: <b>262.761,7 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBn: <b>262.761,7 m<sup>3</sup> = 100%</b></p> <p>Escoamento base amostrado pelo SBn: <b>30.120,59 m<sup>3</sup></b></p>
9		<p>Volume superficial: <b>492.996,3 m<sup>3</sup></b></p> <p>Volume superficial amostrado pelo SBn: <b>460.052,9 m<sup>3</sup> = 93,32%</b></p>

FONTE: A autora (2019)

Cabe destacar a grande representatividade na amostragem do SBn quando esta é realizada de forma completa. Nos eventos 3, 4, 7 e 9 a coleta do escoamento superficial superou 90%, chegando a 100% no oitavo evento. Já para os eventos 1, 5 e 6 a amostragem não foi tão satisfatória: no primeiro, a coleta foi interrompida devido a problemas citados no subitem 4.1.1, o que resultou em amostragem de menos de 10% do escoamento superficial; já nos eventos quinto e sexto ficou evidente que a falta de garrafas disponíveis para coleta também gerou prejuízos.

Além do escoamento superficial, o SBn amostrou ainda escoamento base do rio em alguns eventos, devendo-se a dois fatores:

- (i) problemas no amostrador que geraram coletas que não atendiam aos parâmetros de programação;

- (ii) momento determinado como fim do escoamento superficial anterior a finalização da amostragem.

A amostragem do escoamento base não é tão importante para o escopo deste trabalho e pode gerar prejuízos na ocorrência de eventos de grande intensidade ou eventos subsequentes em curto espaço de tempo, afetando sua amostragem integral por falta de garrafas.

Conforme pode ser observado na Tabela 4 e considerando a limitação atualmente existente de 24 garrafas, o SBn realiza amostragens muito efetivas para escoamentos de aproximadamente 500.000 m<sup>3</sup> quando ajustado para coletas a cada 10 cm. Quando definida para amostrar a cada 15 cm, escoamentos próximos a 1 milhão de metros cúbicos podem ser coletados seguramente, quando não existem intercorrências nas amostragens.

Evidencia-se, assim, a grande relevância do SBn para amostragem de poluição difusa e que a configuração do equipamento no rio Passaúna para o ponto P1 pode ser considerada como adequadamente estabelecida.

#### 4.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Conforme apresentado no Capítulo 3, foram realizadas análises para a determinação da concentração da série de sólidos, totais e suspensos; carbono orgânico dissolvido; turbidez; metais totais e dissolvidos. Para facilitar a compreensão, os resultados serão apresentados por grupos de parâmetros. Em seguida, o aporte total para o reservatório e os elementos que apresentaram concentrações maiores que aquelas determinadas como limites por CONAMA (2005). Além disso, as concentrações determinadas em cada amostra de cada evento são apresentadas no Apêndice A.

Visando à maior compreensão dos fenômenos de transporte, foram construídas curvas de porcentagem de massa por porcentagem de vazão para alguns dos parâmetros analisados. Em função de diversos picos de vazão indetificados para o mesmo evento e, também, visando maior assertividade das curvas de massa por volume, o quinto, sexto e oitavo eventos foram divididos em mais de uma curva.

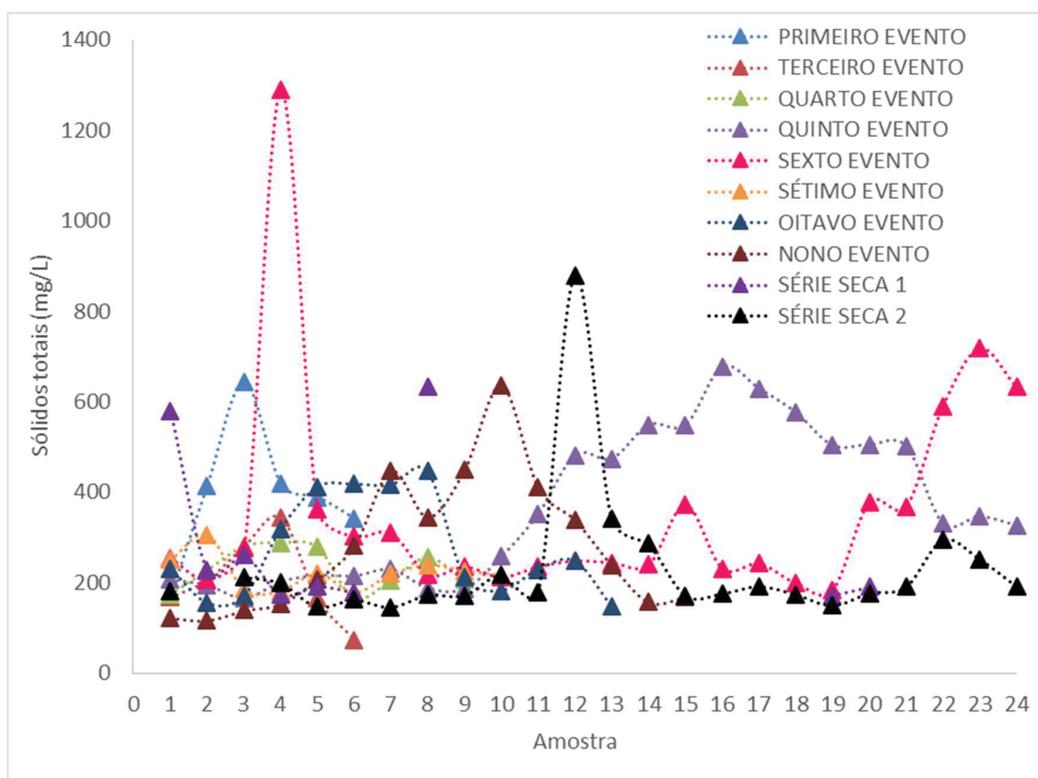
#### 4.3.1 Sólidos totais

As concentrações de sólidos totais, em geral, acompanharam as mudanças na altura da lâmina d'água durante a ocorrência dos eventos. Esse aumento de concentrações relacionado com os eventos pode ser um indicativo de carreamento de solos no entorno do ponto de amostragem e das margens de todo o rio com a drenagem. Para os períodos de seca, como as amostras 1 a 4 do nono evento; as amostras 4, 5, 6, 8, 19 e 20 da primeira série de seca; 5 a 9 e 15 a 21 da segunda; as concentrações de sólidos totais são mais baixas que as registradas em períodos de chuva.

No sexto evento (

Figura 55), a amostra com maior alteração das concentrações de sólidos totais foi a número 4. Apesar de não se caracterizar pela maior elevação de nível, esta amostra apresentou aumento expressivo na concentração de diversos parâmetros.

FIGURA 55 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NOS EVENTOS



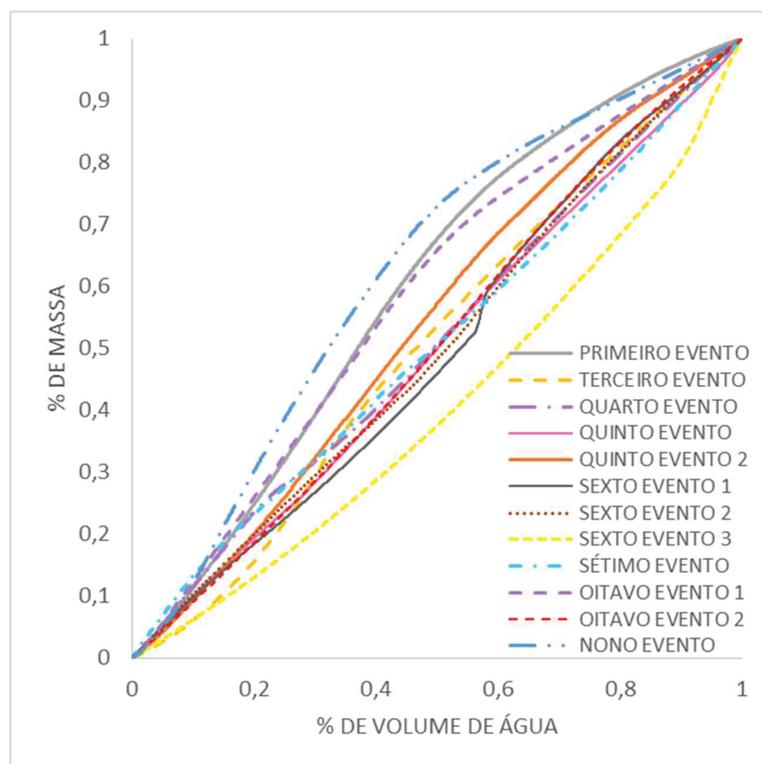
FONTE: A autora (2019)

O entendimento das características desta amostra é complexo, pois não representa o pico do evento nem, tampouco, foi a primeira coleta do evento, o que poderia indicar *first flush*. Também foi excluída uma possível lavagem das superfícies após um longo período de seca, uma vez que este evento ocorreu poucos dias após um evento anterior. Uma outra peculiaridade da amostra é que a lâmina d'água teve pequena elevação quando comparada aos demais eventos.

Na Figura 56 são apresentadas as curvas de massa para os sólidos totais em todos os eventos. O *first flush* pode ser verificado de forma visual, caso haja discrepância entre a distribuição da massa e a distribuição de volume na porção inicial. Para o primeiro e nono eventos e para a primeira parcela do oitavo evento foi observada uma característica de *first flush*, podendo indicar que os sólidos totais estão sendo carregados de áreas próximas ao ponto analisado.

O único indício completamente oposto a essa hipótese é a terceira parte do sexto evento, que apresenta outra característica. Esse terceiro "sub-evento", contudo, não foi amostrado de maneira integral, portanto essa conclusão muito provavelmente seria modificada com a complementação da amostragem. Para todos os outros eventos, o carregamento de sólidos totais seguiu a tendência de escoamento do rio, indicando que não houve *first flush* nesses períodos.

FIGURA 56 – CURVA DE MASSA POR VAZÃO PARA SÓLIDOS TOTAIS



FONTE: A autora (2019)

#### 4.3.2 Sólidos suspensos e turbidez

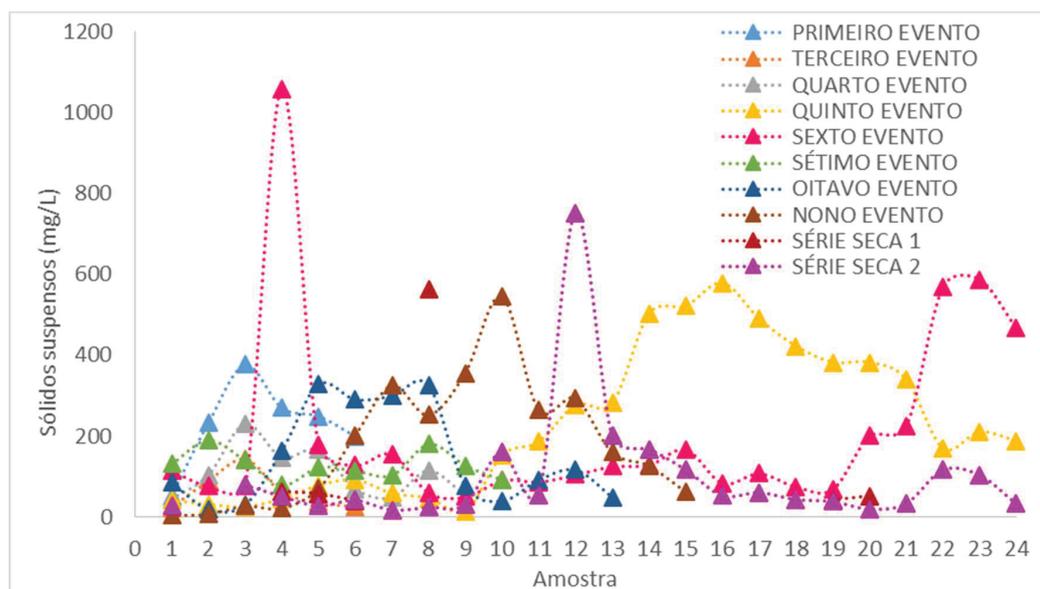
Os sólidos suspensos compõem uma das frações de sólidos encontradas na água e podem ser considerados como agentes poluidores e, portanto, causadores de alterações da qualidade da água, caracterizando-se, também, como importante fonte de nutrientes para os ecossistemas lóticos (DODDS e WHILES, 2004). A turbidez está profundamente associada aos sólidos suspensos, pois estes últimos são uma de suas fontes causadoras.

Um sensível aumento da concentração de sólidos suspensos e turbidez ocorreu novamente para a amostra 4, no sexto evento, sendo que a concentração de sólidos suspensos variou de 77 mg/L para 1058 mg/L, conforme Figura 57, enquanto a da turbidez variou de 84,3 NTU para 1132 NTU, conforme Figura 58.

Assim como para os sólidos totais, os sólidos suspensos e a turbidez seguem tendência de elevação com a ocorrência dos eventos de chuva e de acordo com a sua intensidade. Isso indica que os sólidos suspensos podem estar associados ao

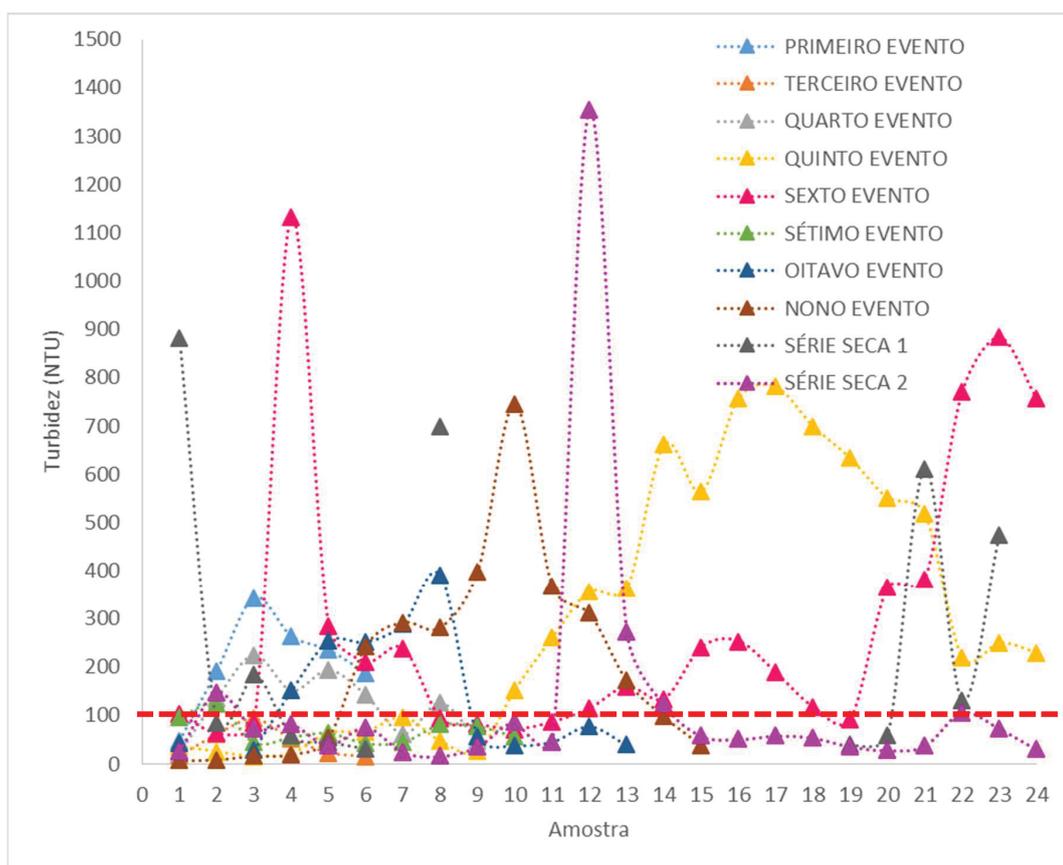
carreamento de partículas ou à ressuspensão de parcelas de sólidos em suspensão já sedimentadas devido à movimentação do leito pelo incremento da velocidade de escoamento do rio. A baixa concentração de sólidos suspensos e, conseqüentemente, da turbidez, em períodos de seca corrobora esta interpretação.

FIGURA 57– CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS PARA TODOS OS EVENTOS



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 58 – TURBIDEZ EM TODOS OS EVENTOS



FONTE: A autora (2019)

Durante os eventos, em diversos pontos, os valores de turbidez superaram o limite de 100 NTU, recomendado como máximo pela Resolução CONAMA nº 375/05. Todas essas ocorrências são apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5 – TURBIDEZ SUPERIOR AO PERMITIDO PELO CONAMA (2005)

(CONTINUA)

TURBIDEZ					
Evento	Amostra	Concentração (NTU)	Evento	Amostra	Concentração (NTU)
1	2	191,3	6	15	239,7
1	3	342,3	6	16	252,3
1	4	263,0	6	17	187,7
1	5	234,7	6	18	117,0
1	6	186,7	6	20	364,0
4	2	135,5	6	21	381,0

TABELA 6 – TURBIDEZ SUPERIOR AO PERMITIDO PELO CONAMA (2005)

(CONCLUSÃO)

<b>4</b>	<b>3</b>	<b>224,5</b>	6	<b>22</b>	<b>769,7</b>
<b>4</b>	4	151,5	<b>6</b>	23	883,0
<b>4</b>	5	193,5	<b>6</b>	24	756,7
<b>4</b>	6	142,0	<b>7</b>	2	124,0
<b>4</b>	8	126,0	<b>8</b>	4	150,7
<b>5</b>	10	152,5	<b>8</b>	5	253,7
<b>5</b>	11	260,0	<b>8</b>	6	251,3
<b>5</b>	12	356,5	<b>8</b>	7	288,7
<b>5</b>	13	361,5	<b>8</b>	8	390,3
<b>5</b>	14	661,0	<b>9</b>	6	243,0
<b>5</b>	15	563,5	<b>9</b>	7	291,3
<b>5</b>	16	757,5	<b>9</b>	8	280,7
<b>5</b>	17	781,0	<b>9</b>	9	397,0
<b>5</b>	18	699,5	<b>9</b>	10	744,3
<b>5</b>	19	633,0	<b>9</b>	11	366,0
<b>5</b>	20	550,5	<b>9</b>	12	310,3
<b>5</b>	21	518,0	<b>9</b>	13	171,3
<b>5</b>	22	219,0	<b>SS 1</b>	1	880,5
<b>5</b>	23	249,5	<b>SS 1</b>	3	185,0
<b>5</b>	24	229,0	<b>SS 1</b>	7	699,0
<b>6</b>	1	102,7	<b>SS 1</b>	10	611,5
<b>6</b>	4	1132,0	<b>SS 1</b>	11	131,0
<b>6</b>	5	283,0	<b>SS 1</b>	12	474,5
<b>6</b>	6	210,0	<b>SS 2</b>	12	1354,0
<b>6</b>	7	237,3	<b>SS 2</b>	13	272,7
<b>6</b>	12	113,7	<b>SS 2</b>	14	123,0
<b>6</b>	13	159,0	<b>SS 2</b>	22	106,3
<b>6</b>	14	133,7			

FONTE: A autora (2019)

Da análise dos resultados apresentados na Tabela 5, pode-se afirmar que alguns dos valores ultrapassam, em muito, o limite máximo determinado pela Resolução CONAMA nº 357/05. Algumas amostras ultrapassaram 500 NTU, valor 5 vezes maior do que o especificado. Segundo a Agência Ambiental Americana (USEPA, 2019a) a turbidez por si só não é capaz de causar danos à saúde humana. Contudo, pode indicar a presença de organismos patogênicos, como bactérias, vírus e parasitas e causar interferências na desinfecção da água durante o tratamento.

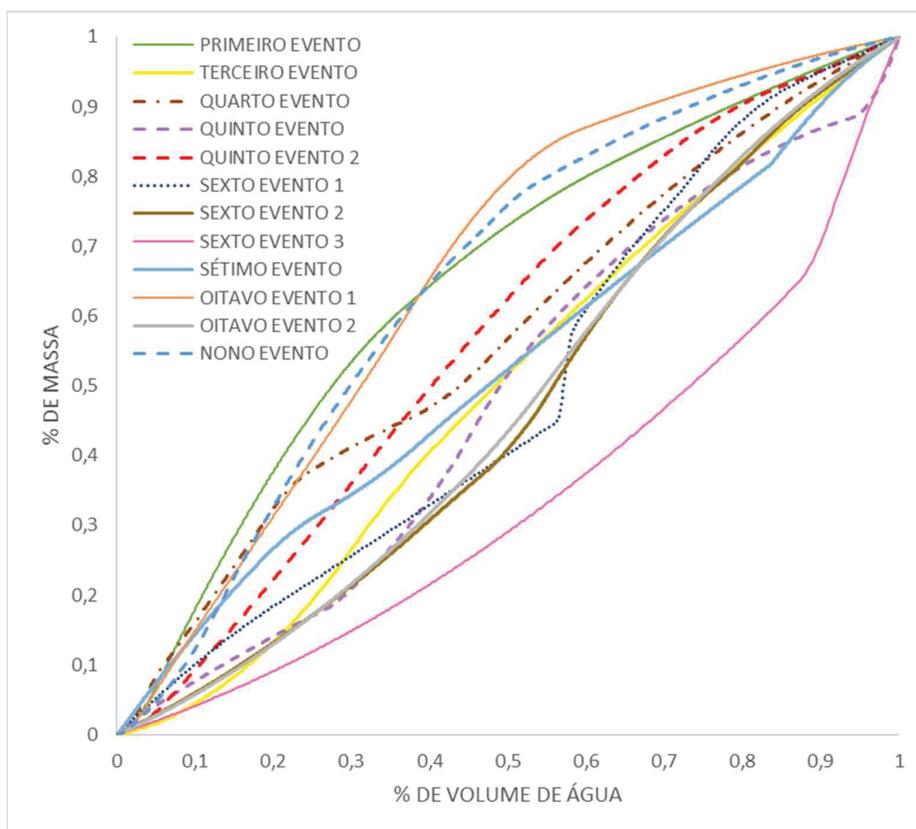
Além disso, também é possível observar que, em pontos muito próximos do P1, os valores foram mais elevados do que aqueles registrados pelo SNIRH (2019) e Pitrat (2010). Para ambos, a contribuição da poluição difusa acabou sendo sub-amostrada ou ignorada, uma vez que os métodos de coleta muito provavelmente não completavam esta parcela da poluição.

Com a adoção do sistema de amostragem automático SBn, a parcela de poluição difusa referente aos elementos dissolvidos pôde ser mais bem representada. Uma consequência relevante da amostragem desta fração é sua grande associação com os metais. Dessa forma, a mudança de característica dos sólidos, por ressuspensão do sedimento de fundo, pode propiciar um aumento da concentração de metais na coluna d'água. Esse aumento pode gerar falso entendimento da origem dos metais quantificados, uma vez que não são associados à ocorrência do evento e sim aos metais presentes no sedimento superficial.

A curva de porcentagem de massa de sólidos suspensos carregada pela vazão é apresentada na Figura 59.

Para a turbidez não foi realizada curva de massa por vazão, uma vez que sua unidade é o NTU, não sendo uma unidade física e sim de comparação.

FIGURA 59 – CURVA DE MASSA POR VAZÃO PARA SÓLIDOS SUSPENSOS



FONTE: A autora (2019)

A partir dos dados apresentados na Figura 59 é possível identificar um expressivo *first flush* no primeiro e nono eventos e na primeira parte do oitavo evento, de forma semelhante à ocorrida para os sólidos totais, conforme Figura 56. Para os sólidos suspensos, contudo, a primeira lavagem pode ser considerada ainda mais preponderante, pois os dados podem indicar que boa parte dos sólidos suspensos está escoando no início dos eventos de chuva, fazendo com que nos momentos subsequentes sejam, muito provavelmente, carregadas outras parcelas de sólidos, como os dissolvidos, por exemplo.

Para o quarto evento, pode ser observado na Figura 59 um arraste mais pronunciado no início da primeira lavagem, seguido de uma redução na taxa de transporte, quando a porcentagem de carregamento praticamente se iguala a porcentagem de vazão escoada. Os demais eventos também apresentaram porcentagens de carregamento muito similares às de escoamento da vazão durante

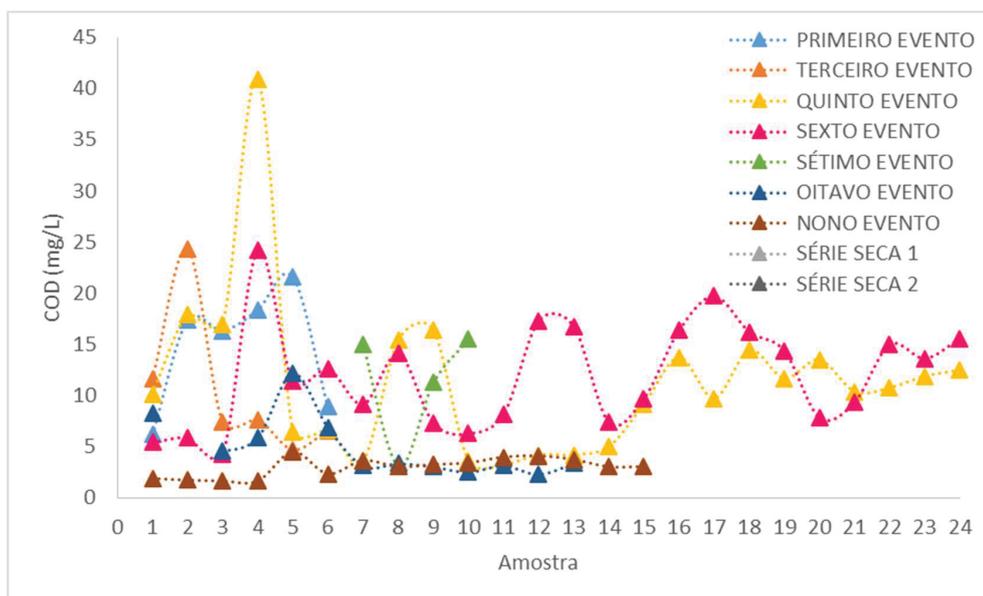
toda a sua duração, com exceção, novamente, da terceira parte do sexto evento, que, como já citado, não foi coletado completamente.

#### 4.3.3 Carbono orgânico dissolvido e metais

Inicialmente, cabe salientar que a abordagem para a determinação da fração dos metais foi alterada em função da identificação de espécies dissolvidas apenas para cálcio e o magnésio, no quinto e sexto eventos. Também deve ser mencionado que não foram realizadas análises de metais para as séries de seca, pois a coleta foi realizada posteriormente à análise dos metais para os outros eventos. Em todas as amostras foi identificada ausência dos metais As, Cd, Co, Cr, Ni, Pd e Sn.

Em geral, as concentrações dos metais e do COD tenderam a aumentar com a ocorrência de eventos. É possível observar, ainda, que a redução da concentração do COD ocorre conjuntamente com a redução dos metais. No terceiro evento, por exemplo, a concentração de COD apresentou redução entre as amostras 2 (7,87 mg/L) e 3 (2,975 mg/g), a mesma tendência tendo sido observada para o ferro, que variou de 24,25 mg/L (amostra 2) para 7,59 mg/L (amostra 3), conforme apresentado na Figura 60 e na Figura 61. Estes comportamentos, que se repetiram em diversos eventos, podem ser considerados como associação entre o COD e os metais, pois estes elementos têm afinidade conhecida (KRABBENHOFT, 1995).

FIGURA 60 – CONCENTRAÇÃO DE COD PARA TODOS OS EVENTOS



FONTE: A autora (2019)

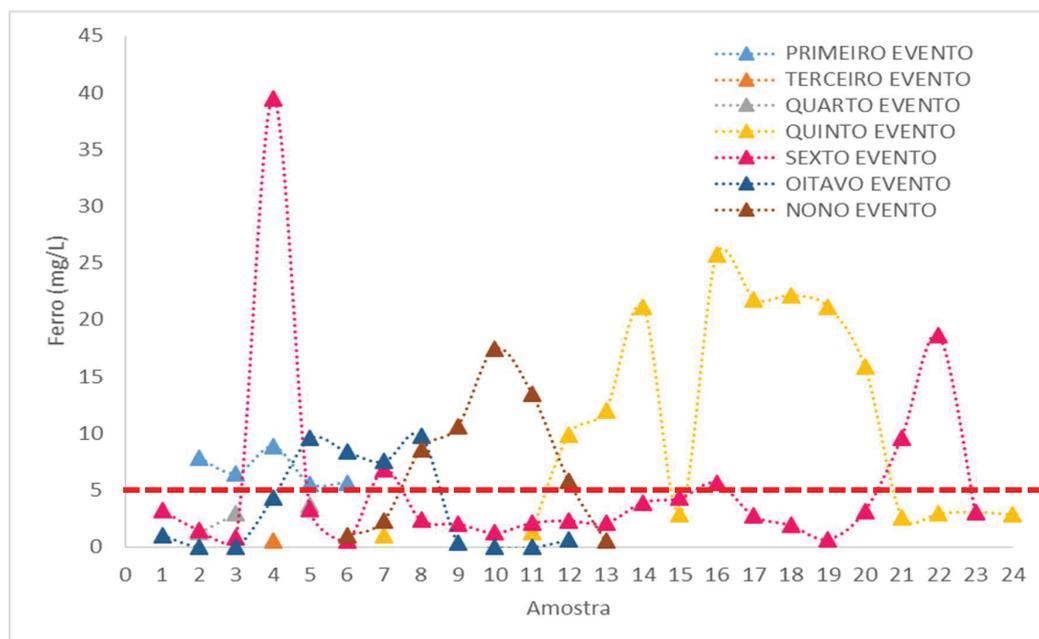
Além do comportamento associativo com os metais, o COD apresentou visível variação em suas concentrações durante o período das coletas (

Figura 60). Até o sétimo evento, foram observadas concentrações bastante elevadas de COD quando comparadas àquelas observadas por outros autores (Godoy, (2017; SINRH, 2019). No oitavo e nono eventos, as concentrações de COD diminuíram em todas as amostras, inclusive aquelas referentes aos picos dos eventos. Como não houve nenhuma alteração no método de realização das análises, esse comportamento pode ter sido causado por mudanças naturais ou antropogênicas, uma vez que o COD é afetado por aportes e por variações climáticas intra e interanuais (NOACCO et al., 2018; KÖHLER et al., 2008).

O ferro e o alumínio apresentaram concentrações elevadas em diversos momentos dos eventos, na ascensão do nível do rio e em sua recessão, sendo que o alumínio esteve presente em todas as amostras quantificadas para metais totais. Como apresentado na Figura 61 e na Figura 62, foram diversas ocorrências de concentrações de ferro e alumínio que ultrapassaram 5 mg/L.

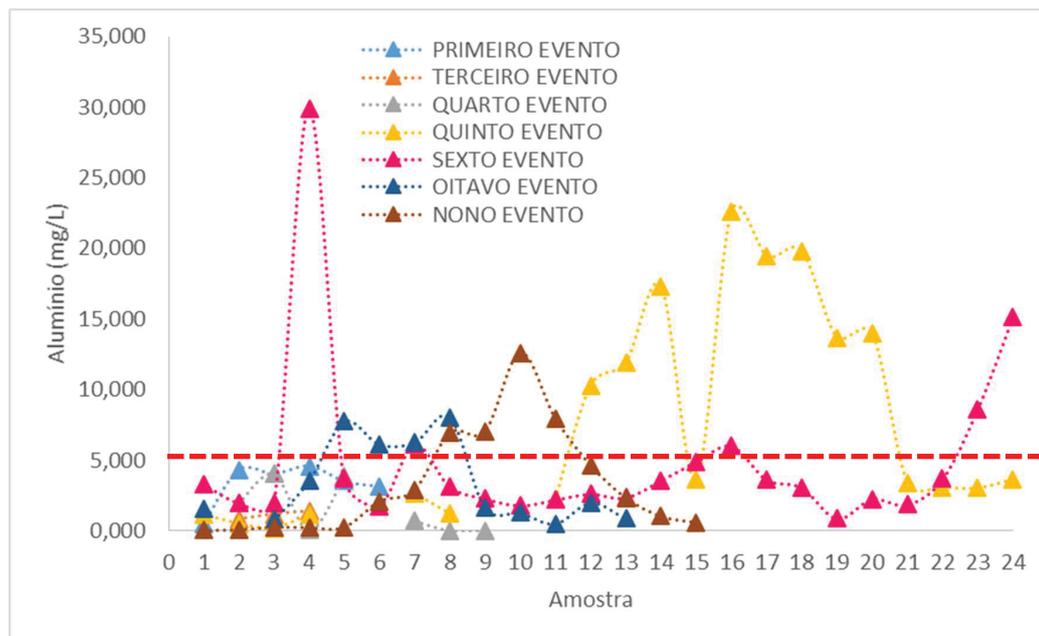
A maior concentração de ferro, alumínio e manganês foi observada na amostra 4 do sexto evento, com uma concentração de 39,4 mg/L de ferro, 29,8 mg/L de alumínio e 1,4 mg/L de manganês (Figuras 61, 62 e 63). Além disso, esta amostra também apresentou concentração de cobre de 0,02 mg/L, única ocorrência deste elemento. Conforme citado anteriormente, é de difícil entendimento as alterações ocorridas na amostra 4 do sexto evento, não tendo sido possível identificar as causas do fenômeno observado com os dados coletados pelo SBn.

FIGURA 61 – CONCENTRAÇÃO DE FERRO EM TODOS OS EVENTOS



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 62 – CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO EM TODOS OS EVENTOS

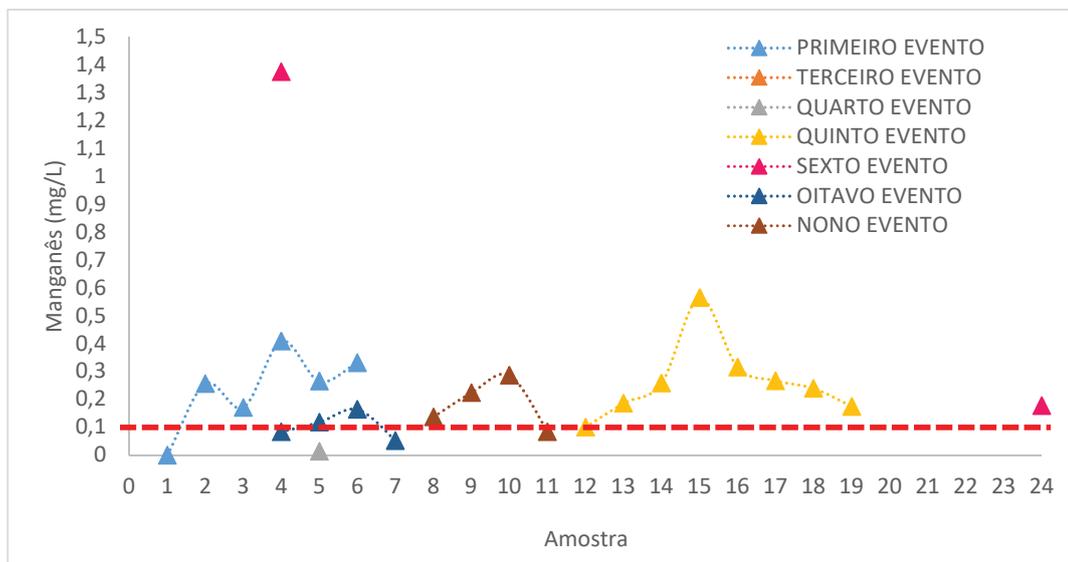


FONTE: A autora (2019)

Diferentemente do ferro e do alumínio, o manganês possui limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que corresponde a concentração de 0,1 mg/L

para rios de Classe 2 como o Rio Passaúna. Como é possível observar na Figura 63, em 5 dos 8 eventos, o limite estabelecido foi ultrapassado.

FIGURA 63 – CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS PARA TODOS OS EVENTOS



FONTE: A autora (2019)

Além disso, na Tabela 6 são apresentadas todas as situações em que houve essa ocorrência.

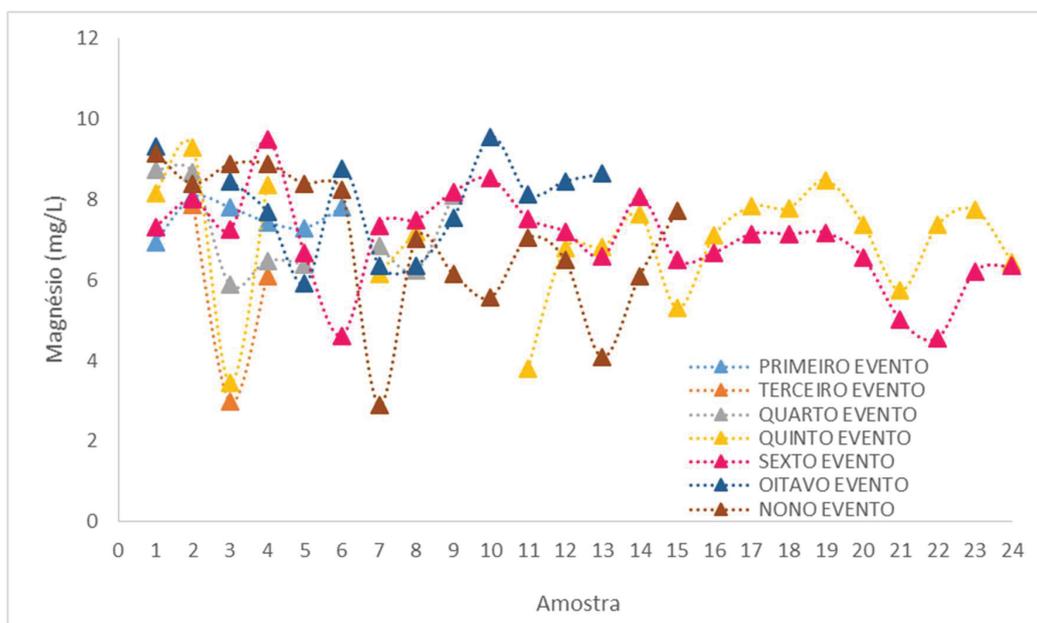
TABELA 7 – CONCENTRAÇÕES DE MANGANÊS SUPERIORES ÀS PERMITIDAS POR CONAMA (2005)

MANGANÊS					
Evento	Amostra	Concentração (mg/L)	Evento	Amostra	Concentração (mg/L)
1	2	0,255	5	18	0,239
1	3	0,170	5	19	0,175
1	4	0,409	6	4	1,373
1	5	0,265	6	24	0,177
1	6	0,331	8	5	0,118
5	13	0,186	8	6	0,164
5	14	0,258	9	8	0,137
5	15	0,564	9	9	0,224
5	16	0,315	9	10	0,286
5	17	0,267			

FONTE: A autora (2019)

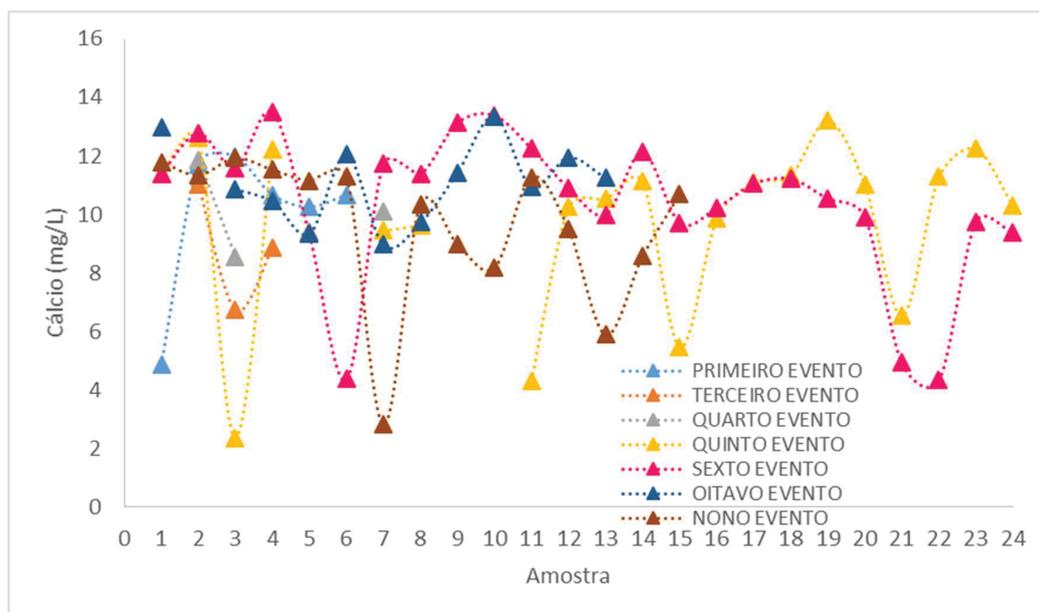
Segundo a Agência Ambiental Americana (USEPA, 2019b) concentrações de manganês acima de 0,05 mg/L podem causar alterações na qualidade da água sem afetar diretamente a saúde de seus consumidores. O Mn é considerado contaminante secundário, além de corrosivo à tubulação. Além disso, é capaz de tornar a coloração da água de marrom a preta, causar odor e transferir sabor metálico à água abastecida, caso não seja removido ou imobilizado. Como é possível observar nas Figura 64 e Figura 65, o magnésio e o cálcio apresentaram comportamentos completamente distintos daqueles observados para ferro, alumínio e manganês. No caso do magnésio e do cálcio, a variação em suas concentrações ocorreu de forma não relacionada às variações de vazão e em diferentes momentos dos eventos, gerando uma dificuldade grande para seu entendimento.

FIGURA 64 – CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO PARA TODOS OS EVENTOS



FONTE: A autora (2019)

FIGURA 65– CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO EM TODOS OS EVENTOS

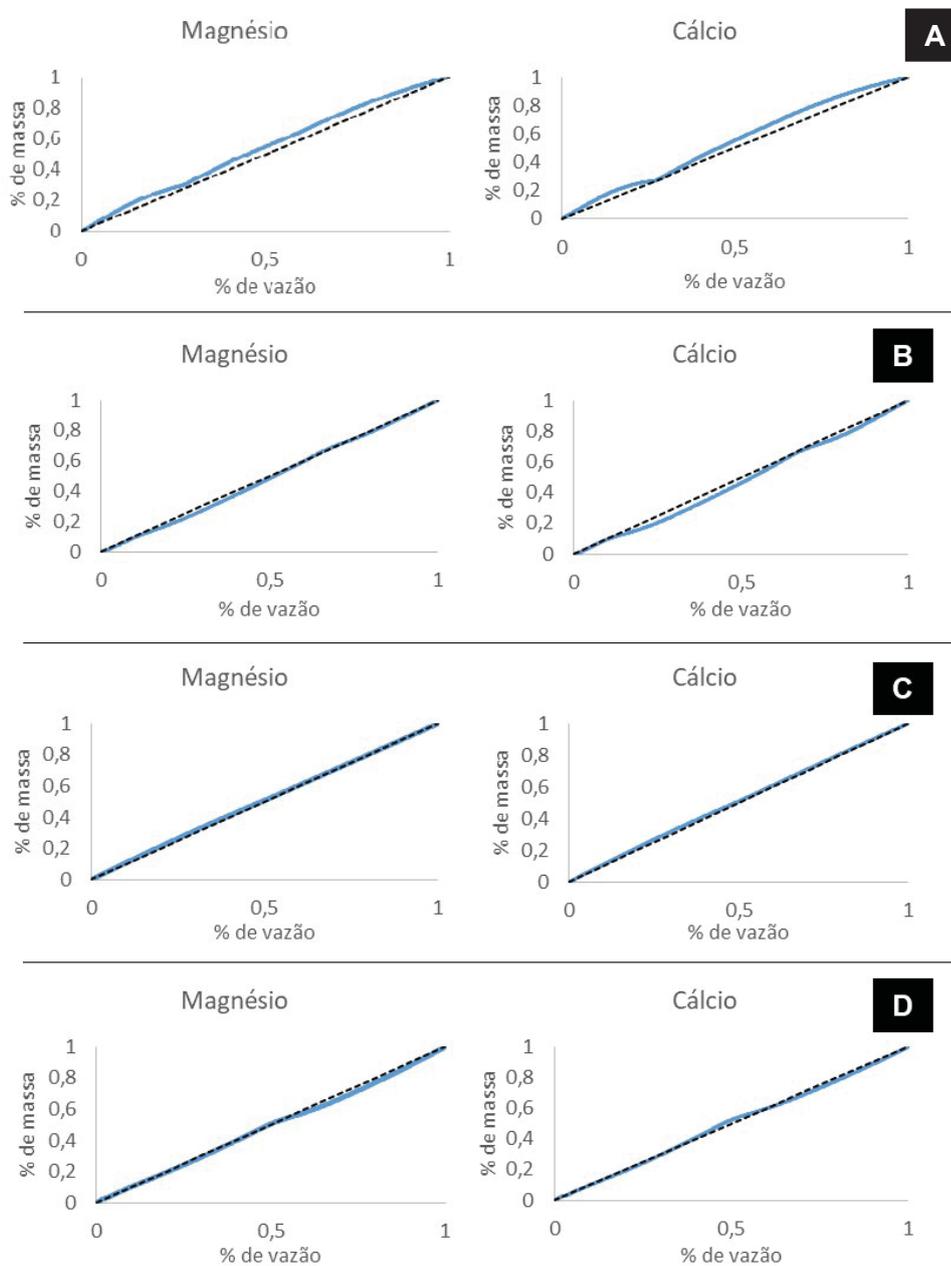


FONTE: A autora (2019)

Valores de cálcio e magnésio foram os mais expressivos em todas as amostras, entretanto, estes elementos não recebem nenhuma restrição de acordo com a base legal vigente.

Observou-se, ainda, que estes dois parâmetros apresentaram, frequentemente, semelhança em seu carregamento, gerando curvas de massa por volume parecidas, conforme apresentado na Figura 66. Além disso, a partir da observação dessa Figura, é possível verificar que não existe uma grande variação das concentrações de Mg e Ca durante o escoamento, o que indica que não existe necessidade de utilização do SBn para quantificação desses elementos. Caso deseje-se estimar apenas magnésio e cálcio nessa seção do Rio Passaúna, poderiam ser utilizadas amostragens manuais sem prejuízos aos resultados.

FIGURA 66 - CURVAS DE MASSA POR VOLUME MAGNÉSIO E CÁLCIO

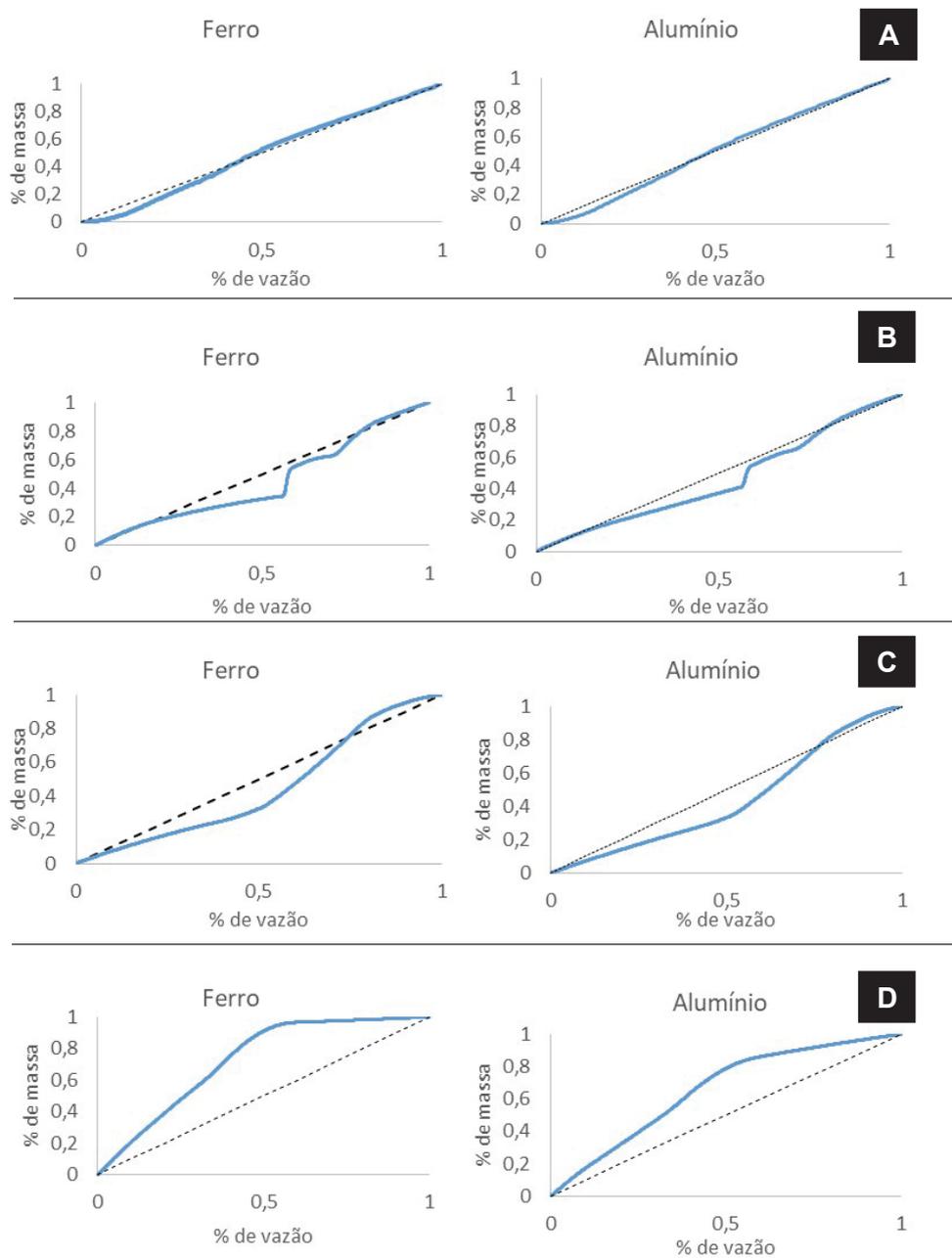


LEGENDA: (A) – primeira parte do quinto evento; (B) – segunda parte do quinto evento; (C) – oitavo evento; (D) – nono evento.

FONTE: A autora (2019)

O mesmo ocorreu com o ferro e com o alumínio, que apresentaram comportamento de escoamento muito semelhantes em diversos eventos (Figura 67).

FIGURA 67 - CURVAS DE MASSA POR VOLUME PARA FERRO E ALUMÍNIO



LEGENDA: (A) – primeiro evento; (B) – primeira parte do sexto evento; (C) – segunda parte do sexto evento; (D) – oitavo evento.

FONTE: A autora (2019)

#### 4.3.4 Estimativa do *Event Mean Concentration*

A partir da Equação 1 (seção 3.8), calculou-se as concentrações médias do evento em  $g/m^3$ . O EMC foi calculado somente para parâmetros que apresentaram uma série contínua de dados. Por exemplo, durante o terceiro evento, o ferro foi identificado apenas na amostra 3, o que impossibilita o cálculo de concentrações estimadas no intervalo entre as amostras. Para esse tipo de ocorrência, os valores de EMC não puderam ser calculados.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de EMC calculados para os oito eventos de chuva amostrados.

TABELA 8 - *EVENT MEAN CONCENTRATION*

(CONTINUA)

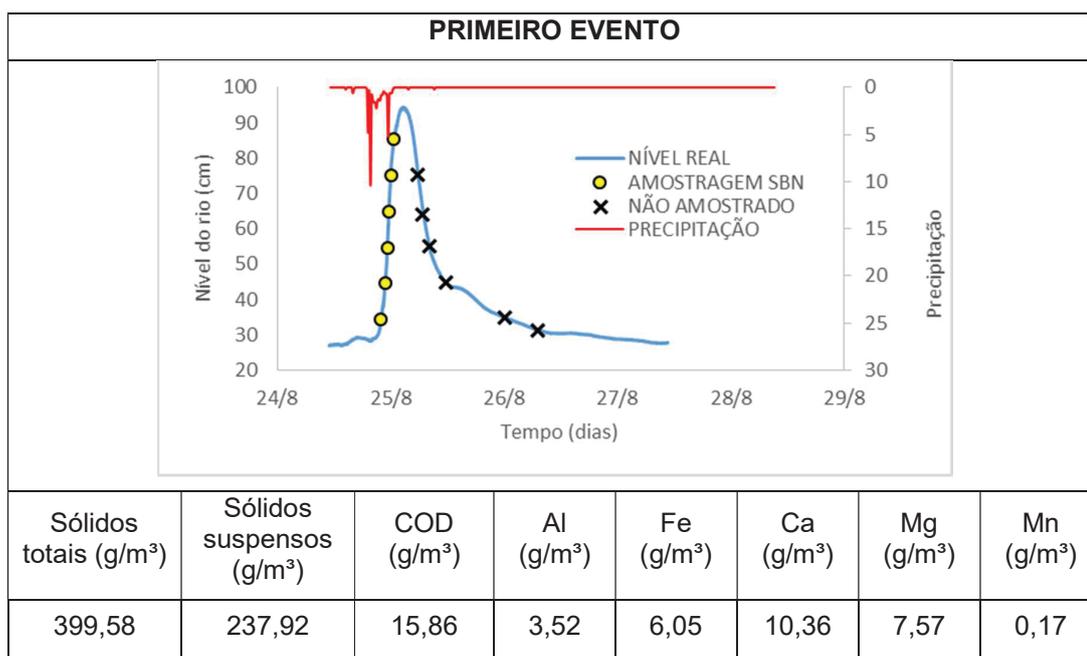


TABELA 8 - EVENT MEAN CONCENTRATION

(CONTINUA)

TERCEIRO EVENTO							
<p style="text-align: center;"><b>NÍVEL DO RIO PASSAÚNA - TERCEIRO EVENTO</b></p>							
Sólidos totais (g/m <sup>3</sup> )	Sólidos suspensos (g/m <sup>3</sup> )	COD (g/m <sup>3</sup> )	Al (g/m <sup>3</sup> )	Fe (g/m <sup>3</sup> )	Ca (g/m <sup>3</sup> )	Mg (g/m <sup>3</sup> )	Mn (g/m <sup>3</sup> )
219,32	62,11	6,93	-	-	-	-	-
QUARTO EVENTO							
Sólidos totais (g/m <sup>3</sup> )	Sólidos suspensos (g/m <sup>3</sup> )	COD (g/m <sup>3</sup> )	Al (g/m <sup>3</sup> )	Fe (g/m <sup>3</sup> )	Ca (g/m <sup>3</sup> )	Mg (g/m <sup>3</sup> )	Mn (g/m <sup>3</sup> )
233,98	97,59	-	-	-	-	-	-

TABELA 8 - EVENT MEAN CONCENTRATION

(CONTINUA)

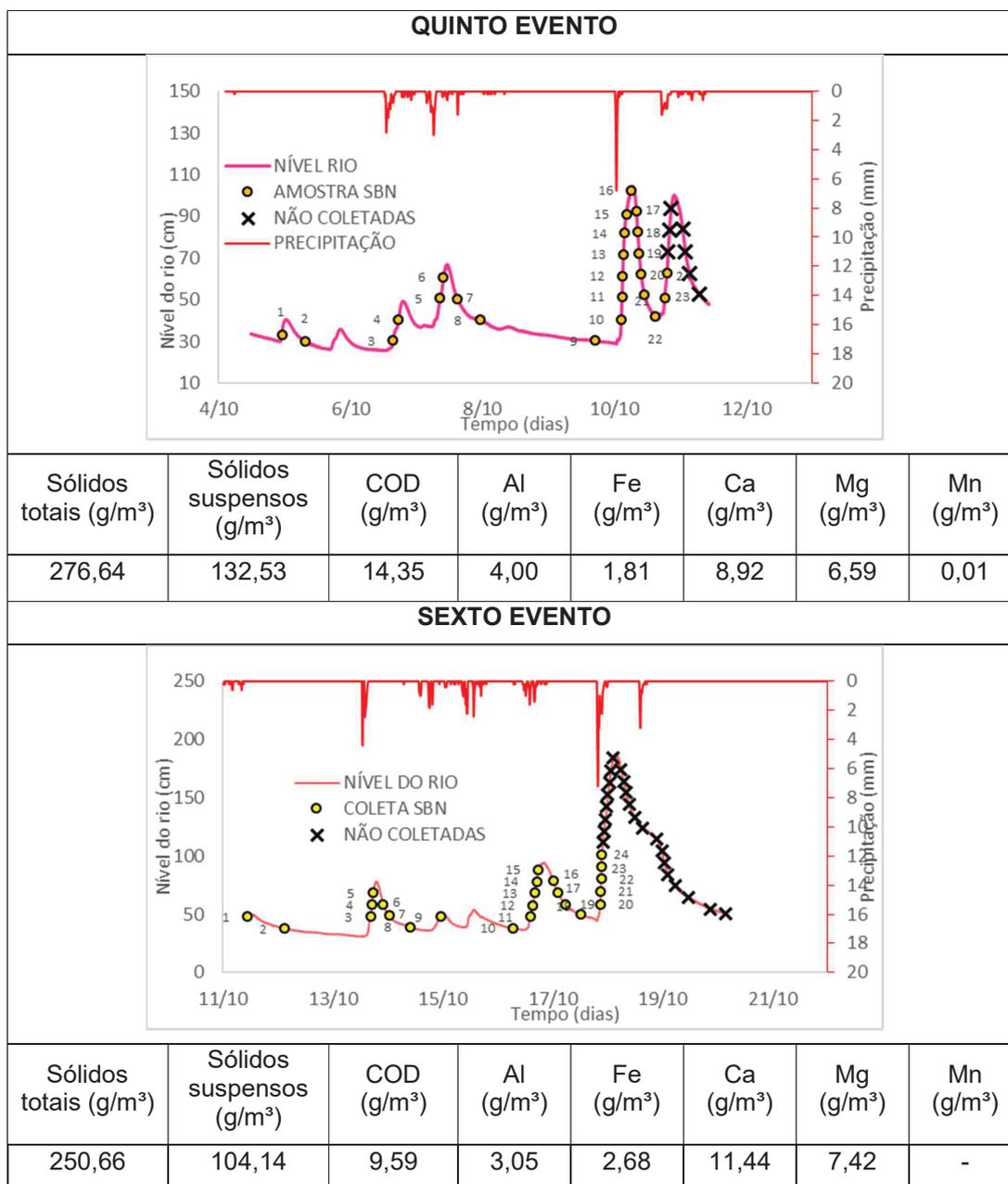


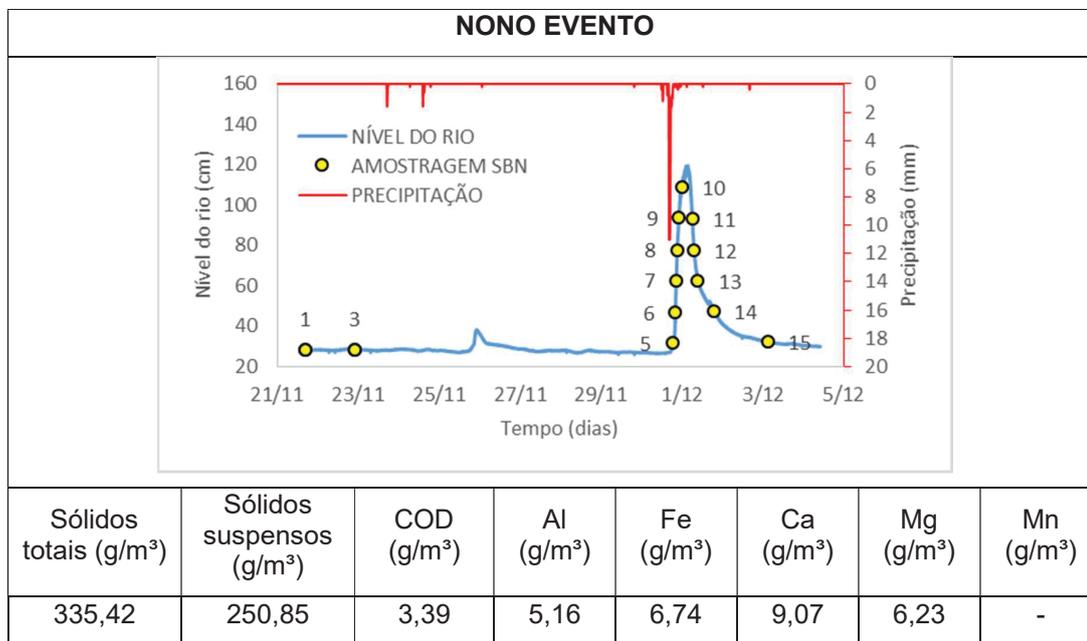
TABELA 8 - EVENT MEAN CONCENTRATION

(CONTINUA)

SÉTIMO EVENTO							
<p>Gráfico do sétimo evento: Nível do rio (cm) vs Tempo (dias). Precipitação (mm) é mostrada no eixo secundário. Amostras SBN (g/m³) foram coletadas em 10 pontos marcados de 1 a 10.</p>							
Sólidos totais (g/m³)	Sólidos suspensos (g/m³)	COD (g/m³)	Al (g/m³)	Fe (g/m³)	Ca (g/m³)	Mg (g/m³)	Mn (g/m³)
228,12	137,87	-	-	-	-	-	-
OITAVO EVENTO							
<p>Gráfico do oitavo evento: Nível do rio (cm) vs Tempo (dias). Precipitação (mm) é mostrada no eixo secundário. Amostras SBN (g/m³) foram coletadas em 13 pontos marcados de 1 a 13. Amostras Corretas (g/m³) foram coletadas em 19/11.</p>							
Sólidos totais (g/m³)	Sólidos suspensos (g/m³)	COD (g/m³)	Al (g/m³)	Fe (g/m³)	Ca (g/m³)	Mg (g/m³)	Mn (g/m³)
276,85	144,22	4,71	4,29	4,63	10,30	8,06	-

TABELA 8 - EVENT MEAN CONCENTRATION

(CONTINUA)



FONTE: A autora (2019)

É possível observar que a avaliação de similaridade entre os valores de EMC para eventos com características semelhantes não é simples. O maior EMC de sólidos totais, por exemplo, é o calculado para o primeiro evento (399,58 g/m<sup>3</sup>), ainda que este tenha sido amostrado de forma incompleta e que não apresente a alteração de vazão mais considerável do período em que o SBn esteve em campo. O primeiro evento também apresentou concentração média significativa para os metais, com destaque para o manganês (0,17 g/m<sup>3</sup>), para o COD (15,86 g/m<sup>3</sup>) e para os sólidos suspensos (237,92 g/m<sup>3</sup>). Os elevados valores de EMC podem ser resultado de um longo período de estiagem anterior ao evento. Outra possibilidade para justificar esses valores elevados é de que o cálculo realizado apenas com metade da vazão escoada resulte em concentrações menos diluídas, portanto, maiores.

Apesar de não apresentar a maior elevação de nível, no nono evento foi identificada a maior concentração média para ferro e alumínio. Este evento também apresentou uma elevada concentração média de sólidos totais e suspensos, sem superar contudo o primeiro evento para esses parâmetros.

As concentrações médias de magnésio e de cálcio mantiveram-se praticamente constantes durante todos os eventos. Por exemplo, nos eventos 1 e 6,

o primeiro de menor intensidade quando comparado ao segundo, os valores do EMC para o magnésio variaram de 10,36 g/m<sup>3</sup> para 11,44 g/m<sup>3</sup>, enquanto para o cálcio variaram de 7,57 g/m<sup>3</sup> para 7,42 g/m<sup>3</sup>. Isso pode indicar que a intensidade dos eventos e as precipitações que os antecederam pouco influenciaram os valores das concentrações médias desses dois metais.

Alés destas informações, a partir dos dados de EMC foi possível determinar o aporte estimado ao reservatório, que serão apresentados a seguir.

#### 4.3.5 Estimativa do total aportado para o reservatório durante os eventos amostrados

O aporte de todos os poluentes ao reservatório foi calculado a partir dos eventos registrados pelo equipamento utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa. Na Tabela 9 são apresentados os aportes totais nos 8 eventos de chuva para os sólidos totais e suspensos, além do carbono orgânico dissolvido.

TABELA 9 – APORTE DE SÓLIDOS TOTAIS, SUSPENSOS E COD AO RESERVATÓRIO

SÓLIDOS TOTAIS		SÓLIDOS SUSPENSOS		COD	
Evento	Massa (t)	Evento	Massa (t)	Evento	Massa (t)
1	6,93	1	4,12	1	0,27
3	18,25	3	5,17	3	0,58
4	36,11	4	15,06	4	-
5	142,77	5	68,40	5	7,40
6	174,54	6	72,52	6	6,68
7	223,85	7	130,80	7	-
8	476,79	8	258,80	8	8,44
9	114,11	9	85,34	9	1,15
<b>TOTAL (t)</b>	<b>1.193,95</b>	<b>TOTAL (t)</b>	<b>640,21</b>	<b>TOTAL (t)</b>	<b>24,52</b>

FONTE: A autora (2019)

Dos dados apresentados na Tabela 9 é possível observar a importância dos eventos de chuva para o carregamento de sólidos: i) no caso dos sólidos totais, aproximadamente 1190 toneladas, enquanto no caso dos sólidos suspensos, aproximadamente 640 toneladas foram, provavelmente, carregadas para o reservatório.

A avaliação do aporte de sólidos é essencial para compreender o potencial de assoreamento do reservatório. Conforme apresentado no Capítulo 2, o assoreamento

do reservatório pode ser considerado uma forma de modificação de suas características, pois altera a qualidade da água e, principalmente, seu tempo de vida útil. É importante ressaltar a importância do aporte de carbono orgânico, uma vez que este componente possui grande afinidade com diversos elementos, podendo combinar-se e gerar outros compostos.

Na Tabela 10 são apresentados os metais aportados ao reservatório, em 5 dos eventos considerados.

TABELA 10 – METAIS APORTADOS AO RESERVATÓRIO

FERRO		ALUMÍNIO		MAGNÉSIO		CÁLCIO		MANGANÊS	
Evento	Massa (t)								
1	0,10	1	0,61	1	0,13	1	0,18	1	0,003
5	0,93	5	2,07	5	3,40	5	4,60	5	0,089
6	1,86	6	2,12	6	5,17	6	7,96	6	-
8	8,31	8	7,70	8	14,46	8	18,48	8	-
9	2,30	9	1,76	9	2,12	9	3,09	9	-
<b>TOTAL (t)</b>	13,5	<b>TOTAL (t)</b>	14,26	<b>TOTAL (t)</b>	25,28	<b>TOTAL (t)</b>	34,31	<b>TOTAL (t)</b>	0,012

FONTE: A autora (2019)

A análise dos dados apresentados na Tabela 10 permite deduzir que existe um aporte expressivo de 5 metais, entre aqueles analisados. O maior carregamento ultrapassou 34 toneladas de cálcio em apenas 5 eventos. Além disso, mesmo para os metais em concentrações menos significativas, como ferro e alumínio, somaram-se, aproximadamente, 14 toneladas de contribuição destes elementos. Apesar de uma parcela associar-se a particulados no sedimento e na coluna d'água, parte da contribuição pode estar afetando negativamente o reservatório, o que pode vir a comprometer, futuramente, a qualidade da água. Assim, é necessário que se avalie a parcela desses metais que está efetivamente chegando às áreas de captação identificar a existência da necessidade de alteração de características do sistema de tratamento da água para abastecimento.

## 5 CONCLUSÕES

Considerando o desenvolvimento da pesquisa em apenas 6 meses e, principalmente, em uma seção recém instalada, cujas informações pretéritas sobre nível e vazão eram inexistentes, permite considerar que a amostragem foi razoavelmente bem-sucedida. Foram amostrados 8 eventos de chuva, duas séries de seca, totalizando 142 amostras, que contribuíram de maneira significativa para o entendimento dos mecanismos difusos de poluição.

Foram enfrentadas algumas dificuldades em relação ao uso do equipamento. O estabelecimento das condições de início e intervalo corretos para as coletas se deu à medida que os eventos ocorriam, com as limitações corrigidas durante o andamento da pesquisa. Somente após a coleta de seis eventos foi possível identificar, por exemplo, a intensidade das modificações que precipitações intensas poderiam causar no rio e quais as condições de amostragem seriam necessárias para amostrá-las integralmente.

Em particular, o entupimento das válvulas também caracterizou-se um problema com certa recorrência ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Algumas amostras importantes foram perdidas devido a problemas na abertura ou fechamento do mecanismo de enchimento das garrafas. Apesar de o filtro desenvolvido para o amostrador ter se mostrado eficaz, por vezes a barreira não foi suficiente para evitar a obstrução, especialmente em situações em que houve interferência externa e abertura de seu compartimento.

A necessidade da utilização de um regulador de carga para o painel solar também foi constatada durante as amostragens, devido à perda de baterias pelo carregamento exagerado em dias de insolação intensa, que afetaram o funcionamento do SBn e o registro de informações de nível e das coletas realizadas.

A despeito dessas limitações, a estratégia de amostragem do SBn no rio Passaúna pode ser considerada definida e consolidada após os seis meses de coletas. É necessário afirmar, entretanto, que o tempo total de desenvolvimento da pesquisa não foi suficiente para entender todas as formas de modificação a que o rio pode estar sujeito em função da poluição difusa. O emprego da amostragem durante período mais longo pode gerar conclusões mais assertivas a respeito das alterações decorrentes dos mecanismos difusos de poluição.

Entretanto, pode-se afirmar que, visando ao entendimento dos mecanismos associados à poluição difusa, mesmo com as falhas ocorridas, o SBn coletou satisfatoriamente as amostras, e particularmente, foi comprovado o seu bom desempenho em relação à amostragem do escoamento superficial.

A partir das análises de sólidos, metais e carbono orgânico dissolvido realizadas foi possível caracterizar parcialmente a poluição difusa aportada ao rio Passaúna, uma vez que muitos outros parâmetros podem ser associados à esta parcela de poluição. Foram identificadas altas concentrações de alumínio, ferro, cálcio e magnésio durante os eventos, além de considerável carreamento de sólidos.

Observou-se ainda que, durante os eventos, existiu uma similaridade entre comportamento do transporte do ferro e do alumínio e entre o do magnésio e do cálcio. É importante mencionar, ainda, que foi observada uma relação entre o carbono orgânico dissolvido e os metais, o que indica uma associação entre eles.

Com o estabelecimento da curva chave, foi possível calcular o transporte mássico dos materiais encontrados, que, quando somados, resultaram em aportes significativos para o reservatório, na ordem de toneladas para os metais e carbono orgânico dissolvido e de centenas de toneladas para os sólidos, podendo acarretar em assoreamento do canal e degradação da qualidade da água.

Mostrou-se, a partir dos resultados obtidos, a viabilidade da utilização do SBn em rios com características menos urbanas para a coleta da porção difusa da poluição. Contudo, alguns fenômenos amostrados não puderam ser completamente entendidos a partir das informações registradas pelo equipamento, a exemplo da amostra de número 4 do sexto evento.

Dessa forma, sugere-se a utilização do amostrador por período mais longo, para registrar o escoamento de base do rio, por exemplo, durante os meses mais secos do ano. Além disso, um maior período de observação poderá tornar possível a determinação de condições de amostragem diferentes para cada época do ano, tornando as configurações do início e intervalo das coletas mais adequadas à intensidade de precipitações que costumam ocorrer.

Outro ponto importante é a instalação de uma versão mais robusta do SBn, ou seja, com maior capacidade de amostragem. Isso poderia permitir um número maior de coletas, sendo mais eficaz para eventos de grande proporção ou subsequentes em um curto espaço de tempo.

Recomenda-se, ainda, a instalação de um segundo equipamento SBn em paralelo àquele já estabelecido. Isso poderia viabilizar a realização de amostragens a partir de parâmetros distintos de inicialização de eventos, o que permitiria a determinação de uma configuração mais adequada. Outra possibilidade seria a de realizar amostragens por tempo e por variação de nível concomitantemente, perspectiva interessante para a comprovação da superioridade da segunda forma de coleta.

Por último, embora não seja o escopo deste trabalho, é importante ressaltar que o amostrador cumpriu as funções de uma estação hidrológica, operando de maneira praticamente ininterrupta durante o período de amostragem.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Guia Nacional De Coleta e Preservação De Amostras**. Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. 2011. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios, 2018. Disponível em: <<http://sar.ana.gov.br/>>. Acesso em 15/10/2018.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, p. 711–728. 2014.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília – DF, 2000.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th ed. APHA–AWWA–WPCF. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC. 1325 p. 2000.

ASFAW, A.; MAHER, K.; SHUCKSMITH, J.D. Modelling of metaldehyde concentrations in surface waters: A travel time based approach. **Journal of Hydrology**, 562. pp. 397-410, 2018.

BEM, C. C. e DOMBROSKI, L. F. Manual de procedimentos laboratoriais Integra - Climasul aplicado ao monitoramento de parâmetros associados à qualidade da água em corpos aquáticos. **Manual**. Laboratório de Engenharia Ambiental - Borsari Neto. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Paraná. 2010.

BIRD, G., BREWER, P.A., MACKLIN, M.G., BALTEANU, D., DRIGA, B., SERBAN, M., ZAHARIA, S. The solid state partitioning of contaminant metals and as in river channel sediments of the mining affected Tisa drainage basin, northwestern Romania and eastern Hungary. **Appl. Geochem**, v. 18, p. 1583-1595, 2003.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L. de, SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª Edição. 336 p. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, S. M. Uma nova abordagem para integração entre quantidade e qualidade da água para a avaliação da poluição difusa. **Tese (Doutorado)**. 195 p. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. 2013. Disponível em <<http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36071/R%20-%20T%20-%20SERGIO%20MICHELOTTO%20BRAGA.pdf?sequence=1>>

BRASIL - Governo Federal, Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5/2017. Brasília - DF, 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. 2017. Disponível em <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html#CAPITULOVSECII](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html#CAPITULOVSECII)>. Acesso em 02/11/2018.

BUFFLE, J. **Complexation reactions in aquatic system: an analytical approach**. Ellis Horwood: England, 427 p. 1990.

BUSCH, O. M. S. **Qualidade da água e saúde humana: riscos potenciais face ao processo de ocupação urbana no entorno da Represa do Passaúna – Curitiba – PR**. 277 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

CAMPBELL SCIENTIFIC. Components - PVS5120C and PVS5120D. **Manual técnico**. 2017. Disponível em <[https://s.campbellsci.com/documents/us/productbrochures/b\\_pvs5120.pdf](https://s.campbellsci.com/documents/us/productbrochures/b_pvs5120.pdf)>. Acesso em 15/09/2018.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JUNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, I.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. 132 p.

CHEN, J.; YUAN, Q.; YOUNGCHUL, K. Evaluation of a first-flush capture and detention tank receiving runoff from an asphalt-paved road. **Water and Environmental Journal**, v. 31, I. 3, p. 410-417, 2017.

CHOW, M.F.; YUSOP, Z. Sizing first flush pollutant loading of stormwater runoff in tropical urban catchments. **Environmental Earth Sciences**, v.72 i.10, pp. 4047-4058, 2014.

CONAMA. **Resolução Nº 357/2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal, 2005. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2002\\_302.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_302.pdf)>.

CONAMA. **Resolução Nº 397/2008**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal, 7 de abril de 2008. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=563>>.

COOPER, R. J.; RAWLINS, B. G.; LÉZÉ, B.; HISCOCK, K. M. Combining two filter paper-based analytical methods to monitor temporal variations in the geochemical properties of fluvial suspended particulate matter. **Hydrological processes**, v. 28, ed. 13, p. 4042-4056, 2014.

COOPER, R. J.; KRUEGER, T.; HISCOCK, K. M.; RAWLINS, B. G. High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: a Bayesian approach. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, ed. 1, p. 78-92, 2015.

CRUZ, R.V.O.; PILLASA, M.; CASTILLO, H.C.; HERNANDEZ, E.C. Pagsanjan-Lumban catchment, Philippines: Summary of biophysical characteristics of the

catchment, background to site selection and instrumentation. **Agricultural Water Management**, v. 106, p. 3-7, 2012.

DAVIES-COLLEY, R.; LYDIARD, E.; NAGELS, J. Stormflow-dominated loads of faecal pollution from an intensively dairy-farmed catchment. **Water Science and Technology**, v. 57, ed. 10, p. 1519-1523, 2008.

DE GIROLAMO, A. M.; CALABRESE, A.; PAPPAGALLO, G.; SANTESE, G.; LO PORTO, A. Impact of anthropogenic activities on a temporary river. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 21, ed. 11, p. 3278-3286, 2012.

DOMBROSKI, L. F. Manual de procedimentos laboratoriais aplicados ao monitoramento de parâmetros associados à qualidade de sedimentos em corpos aquáticos. **Manual**. Laboratório de Engenharia Ambiental - Borsari Neto. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Paraná. 2011. Não Publicado.

DODDS, W. K.; WHILES, M. R. Quality and Quantity of Suspended Particles in Rivers: Continent-Scale Patterns in the United States. **Environmental Management**, v. 33, l. 3, p. 355-367, 2004

EJERTECH. Automatic water sampler - Model: ZYE-HC01A. 2018. Disponível em <[https://www.samplers.cc/productshow\\_1.html](https://www.samplers.cc/productshow_1.html)>. Acesso em 15/09/2018.

ENDRESS+HAUSER. Technical Information - Liquistation CSP44. **Manual técnico**. 2018. Disponível <[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000307/6128/000/06/T100465CEN\\_1816.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000307/6128/000/06/T100465CEN_1816.pdf)>. Acesso em 15/09/2018.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **What indicators, like turbidity, does EPA regulate in drinking water, and how do they reflect problems?** 2019a. Disponível em <<https://safewater.zendesk.com/hc/en-us/articles/212075377-04-What-indicators-like-turbidity-does-EPA-regulate-in-drinking-water-and-how-do-they-reflect-problems->>. Acesso em 06/01/2019.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals**. 2019b. Disponível em <<https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals#main-content>>. Acesso em 06/01/2019.

GIL, K.; IM, J. Analysis of non-point source characteristics of heavy metals and oil and grease at railway bridge area with various land uses. **Desalination and Water Treatment**, pp. 1-7, 2014.

GODOY, R.F.B. Dinâmica da qualidade da água em reservatório de abastecimento público: estudo de caso do Passaúna – PR. **Dissertação (Mestrado)**. 183 p. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. 2017.

GOOGLE EARTH. **Mapas de satélite**. 2019. Disponível em <<https://earth.google.com/web/@-25.44611399,-49.41886578,980.81714607a,51528.48636436d,35y,350.51508919h,0t,0r.>>. Acesso em 15/03/2019.

GOZZARD, E.; MAYES, W.M.; POTTER, H.A.B; JARVIS, A.P. Seasonal and spatial variation of diffuse (non-point) source zinc pollution in a historically metal mined river catchment, UK. **Environmental Pollution**, v. 159, pp. 3113-3122, 2011.

GUSMÃO FILHO, J. A. G. **Fundações de pontes: hidráulica e geotécnica**. 2ª Edição. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2008.

HATHAWAY, J.M.; HUNT, W.F. Evaluation of First Flush for Indicator Bacteria and Total Suspended Solids in Urban Stormwater Runoff. **Water, Air, & Soil Pollution**, v.217, i. 1-4, pp. 135-147, 2011.

HATHAWAY, J.M.; TUCKER, R.S.; SPOONER, J.M.; HUNT, W.F. A Traditional Analysis of the First Flush Effect for Nutrients in Stormwater Runoff from Two Small Urban Catchments. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 223, i. 9, pp. 5903-5915, 2012.

HATHAWAY, J.M.; HUNT, W.F.; GUEST, R.M.; MCCARTHY, D.T. Residual indicator bacteria in autosampler tubing: A field and laboratory assessment. **Water Science and Technology**, 69 (5): p. 1120 – 1126, 2014.

HAUPT, J. P. de O. Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do Rio Jundiaí. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 2009. Disponível em <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-20072009-173457/publico/HAUPT\\_J\\_P\\_O.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-20072009-173457/publico/HAUPT_J_P_O.pdf)>

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. Monitoramento da qualidade das águas dos rios da região metropolitana de Curitiba, no período de 2002 a 2005. **Relatório técnico**, 2005.

IM, J.; GIL, K. Characteristics of non-point source pollutants on a railway bridges. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, pp. 684-693, 2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Consulta Dados da Estação Convencional**: CURITIBA (PR). Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODM4NDI=>>>. Acesso em 04/11/2018.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Sistema de Informações Hidrológicas - Relatório de Alturas Diárias de Precipitação. Estação número 02549080. 2018. Disponível em <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasDiariasPrecipitacao.do?action=carregarInterfacelInicial>>. Acesso em 04/11/2018.

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Mapas – Zoneamento de Curitiba, 2018. Disponível em <<http://www.ippuc.org.br/mostrarpagina.php?pagina=352&idioma=1&ampliar=n>>. Acesso em 02/11/2018.

JEONG, C. Y.; WEINDORF, D. C.; DERAMUS, A., GOODEAUX, L. L. Surface and Subsurface Phosphorus Losses from Sugarcane Fields with Different Management Practices. **Water Air and Soil Pollution**. V. 217 1-4 p. 649-661, 2011.

KÖHLER, S.; J.; BUFFAM, I.; LAUDON, H.; BISHOP, K.H. Climate's control of intra-annual and interannual variability of total organic carbon concentration and flux in two contrasting boreal landscape elements. **Journal Of Geophysical Research**, v. 113, G03012, 12 p., 2008.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KOZAK, C. Water quality assessment and its effects on diffuse pollution considering a new water quality and quantity approach. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2016.

KRABBENHOFT, D.P.; BENOIT, J.M.; BABIARZ, C.L.; HURLEY, J.P.; and ANDREN, A.W. Mercury cycling in the Allequash creek watershed, northern Wisconsin. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 80(1-4), p. 425-433, 1995.

LEE, P., KANG, M., YU, S., KO, K., HA, K., SHIN, S., PARK, J. Enrichment and geochemical mobility of heavy metals in bottom sediment of the Hoedong reservoir, Korea and their source apportionment. **Chemosphere**, n 184, p.74-85. 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.124>>.

MEGER, D. G. Material particulado suspenso e macro constituintes iônicos em um reservatório de abastecimento: o caso do rio Passaúna, Curitiba, Paraná, Brasil. **Dissertação (Mestrado Profissional)**. 141 p. Centro Universitário Positivo, Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental., 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914/2011**. Ministério da Saúde, Gabinete do Ministro, 12 de dezembro de 2011. Disponível em <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Abes. 336 p. 2012.

NAKASONE, H. Runoff water quality characteristics in a small agriculture watershed. **Paddy and Water Environment**, v. 1, ed. 4, p. 183-188, 2003.

NOACCO, V.; DUFFY, C.J.; WAGENER, T.; WORRALL, F.; FASIOLO, M.; HOWDEN, N.J.K. Drivers of interannual and intra-annual variability of dissolved organic carbon concentration in the River Thames between 1884 and 2013. **Hydrological Processes**, v. 33, pp. 994-1012, 2018.

NOVOTNY, V. Unit pollutant loads. *Water Environment & Technology*, v. 4, n. 1, p. 40-43. 1992.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; PIRES, R. C. Ranking do Saneamento. **Relatório técnico**. Instituto Trata Brasil. São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, J. N. P. A influência da poluição difusa e do regime hidrológico peculiar do semiárido na qualidade da água de um reservatório tropical. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de pós-graduação em Engenharia Sanitária. 2012. Disponível em <[http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15992/1/JoseNPO\\_DISSERT.pdf](http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15992/1/JoseNPO_DISSERT.pdf)>

OLIVER, D. M.; PORTER, KENNETH D. H.; HEATHWAITE, A. L.; ZHANG, T.; QUILLIAM, R. S. Impact of low intensity summer rainfall on E. coli-discharge event dynamics with reference to sample acquisition and storage. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, ed. 7, 2015

PARANÁ, Governo do Estado. **Decreto nº 5063**, de 20 de novembro de 2001. Altera e atualiza o Zoneamento Ecológico Econômico da Área de Proteção Ambiental denominada APA Estadual do Passaúna da Secretaria da Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA. 2001.

PITRAT, D. M. J. J. Avaliação da contaminação por metais em rios: estudo de caso da bacia do rio Passaúna. **Dissertação (Mestrado)**. 233 p. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. 2010. Disponível em <[https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24115/AVALIACAO%20DA%20CONTAMINACAO%20POR%20METAIS%20EM%20RIOS\\_%20ESTUDO%20DE%20CASO%20%20DA%20BACIA%20DO%20RIO%20PASSAUNA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24115/AVALIACAO%20DA%20CONTAMINACAO%20POR%20METAIS%20EM%20RIOS_%20ESTUDO%20DE%20CASO%20%20DA%20BACIA%20DO%20RIO%20PASSAUNA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Plano Municipal de Abastecimento de Água. Volume II. Curitiba, 2017. Disponível em <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2017/00213385.pdf>>. Acesso em 10/04/2018.

PMC - PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Contrato de Cooperação nº 23.001/18, de 08 de junho de 2018. Dispõe sobre a prestação de serviço público de abastecimento de água e esgotamento sanitário pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Curitiba, 2018. Disponível em <[http://multimedia.transparencia.curitiba.pr.gov.br/convenios/termos/1L\\_Convenio\\_Sanepar1307.pdf](http://multimedia.transparencia.curitiba.pr.gov.br/convenios/termos/1L_Convenio_Sanepar1307.pdf)>. Acesso em 01/11/2018.

SAAR, R A; WEBER, J H. Fulvic acid: modifier of metal-ion chemistry. **Environmental Science Technology**, v. 16, n. 9, p. 510-517, 1982.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Tratamento de água**. 2016. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>>.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Boletim dos Mananciais. 2018. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=553>>. Acesso em 02/10/2018.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná; CONSILIU – Projetos e Consultoria Ltda. 2002. **Planos de uso e ocupação das águas e do entorno dos reservatórios dos rios Iraí, Piraquara I e Passaúna na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, Paraná. SANEPAR, 123p. Curitiba.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **Plano Diretor do SAIC**: Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana. Curitiba, 2013. Disponível em <<http://site.sanepar.com.br/arquivos/saicplanodiretor.p df>>. Acesso em 25/05/2018.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Sanepar em números**. 2014. Disponível em <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros>>.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Relatório anual da qualidade da água do sistema de abastecimento de Curitiba. Relatório técnico. Curitiba, 2018. Disponível em <<http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2017/001.pdf>>. Acesso em 25/08/2018.

SEDLÁČEK J., BÁBEK, O., NOVÁKOVÁ, T. Sedimentary record and anthropogenic pollution of a complex, multiple source fed dam reservoirs: An example from the Nové Mlýny reservoir, Czech Republic. **Science of the Total Environment**, p.1456-1472. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.127>. 2017.

SIH – Sistema de Informações Hidrológicas, Instituto das Águas do Paraná. **Relatórios sobre estação hidrológica**, Estação número 65021800, 2019. Disponível em <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/>>. Acesso em 25/02/2019.

SILVA, C. F. Relação entre carbono orgânico dissolvido (COD) e elementos metálicos em águas naturais da porção leste do Quadrilátero Ferrífero – MG. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. 100 p. 2013. Disponível em <[http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3286/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_%20Rela%C3%A7%C3%A3oCarbonoOrg%C3%A2nico.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3286/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20Rela%C3%A7%C3%A3oCarbonoOrg%C3%A2nico.pdf)>.

SILVA FILHO, L. V. Qualidade e percepção ambiental: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Passaúna. 218 p. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2010.

SMMA - Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba. Plano de Gestão Integrada De Resíduos Sólidos de Curitiba. **Relatório técnico**. Curitiba, 2010. Disponível em <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2010/00084142.pdf>>. Acesso em 20/10/2018.

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Séries históricas de Estações**. Disponível em <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acesso em 23/04/2019.

SUDERSHA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. **Relatório técnico**. Curitiba, 2002.

TELEDYNE ISCO. Full-size Portable Sampler – 6712. **Manual técnico**. 2018. Disponível em <<http://www.teledyneisco.com/en-us/waterandwastewater/Sampler%20Documents/Datasheets/Isco%206712%20Full-size%20Portable%20Sampler%20Datashet.pdf>>. Acesso em 15/09/2018.

TIEMEYER, B.; KAHLE, P.; LENNARTZ, B. Designing Monitoring Programs for Artificially Drained Catchments. **Vadose Zone Journal**, 9(1), 14. 2010.

THOMANN, R. V. e MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and Control**. Nova York: Harper & Row. 644p. 1987.

TRINDADE, W. M., HORN, A. H., RIBEIRO, E.V. Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora - MG: Geoquímica e classificação de risco ambiental. **Geonomos**, v. 20 (1), p. 64-75, 2012.

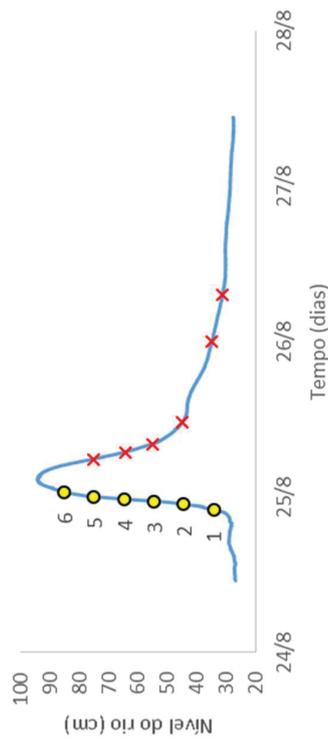
TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. 943 p. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS : ABRH, 2000.

XU, P.; HE, JC.; ZHANG, YJ.; ZHANG, JQ.; SUN, KP. Runoff pollutant characteristics and first flush analysis in different urban functional areas: a case study in China. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 25, i. 7, pp. 2444-2453, 2016.

YSI. ProSample User Manual – Portable Automatic Samplers. **Manual técnico**. 2018. Disponível em <[https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/6301\\_23-ProSample-Manual.pdf](https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/6301_23-ProSample-Manual.pdf)>. Acesso em 15/09/2018.

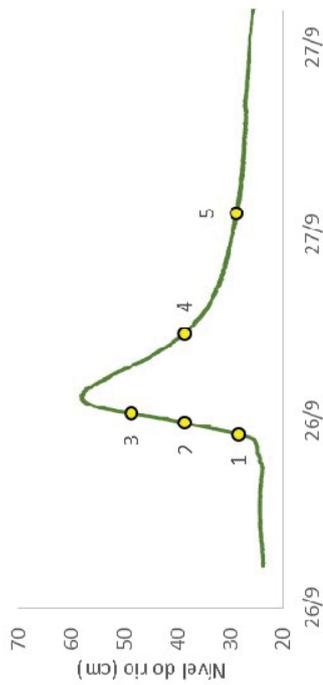
## APÊNDICE 1 – CONCENTRAÇÕES DE TODOS OS COMPONENTES POR EVENTO

### 1º EVENTO



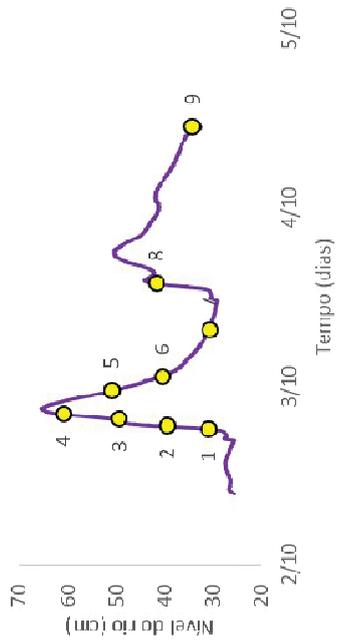
Amostra	COD (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Sólidos sedim. (mL/L)	Turbidez (NTU)	Al total (mg/L)	Ca total (mg/L)	Fe total (mg/L)	Mg total (mg/L)	Mn total (mg/L)
1	6,14	169,00	49,33	0,40	47,67	0,47	4,85	-	6,94	-
2	17,33	414,00	232,00	2,00	191,33	4,30	11,69	8,79	8,06	0,26
3	16,30	643,00	360,00	4,80	342,33	4,03	11,97	6,84	7,81	0,17
4	18,33	418,00	269,33	3,60	263,00	4,58	10,66	9,69	7,44	0,41
5	21,55	389,00	252,00	3,60	234,67	3,51	10,25	5,55	7,29	0,26
6	8,92	342,00	213,33	2,40	186,67	3,13	10,65	5,67	7,80	0,33

3º EVENTO



Amostra	COD (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Turbidez (NTU)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe total (mg/L)	Mg (mg/L)
1	11,56	167,00	23,67	16,67	-*	8,119*	-*	9,711*
2	24,25	205,00	90,50	61,33	0,833	11,011	-	7,870
3	7,351	280,00	144,67	94,00	1,174	6,736	-	2,975
4	7,59	344,00	62,00	51,67	1,401	8,844	0,563	6,101
5	4,649	164,50	35,33	22,67	0,133*	3,843*	-*	6,449*
6	6,523	73,50	26,00	15,00	-*	3,829*	-*	7,837*
Reserv.	10,82	126,00	23,67	20,33	-*	8,119*	-*	9,711*

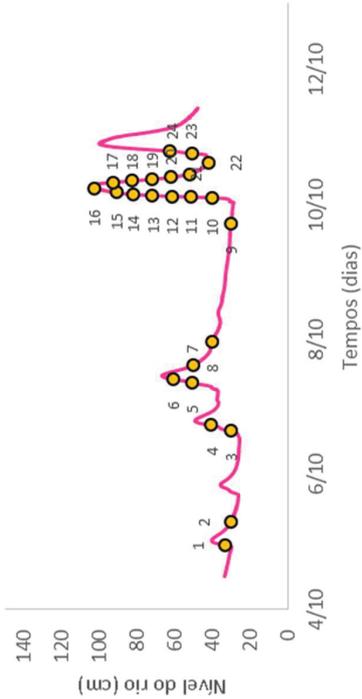
4° EVENTO



Amostra	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Sólidos sedim. (mL/L)	Turbidez (NTU)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
1	173,00	43,33	0,4	22,90	-*	12,242*	-*	8,737	-*	-*
2	227,00	102,67	0,4	135,50	1,941	11,860	1,302	8,686	-	-
3	280,00	230,00	0,8	224,50	4,048	8,542	2,958	5,890	-	-
4	288,00	147,33	1,6	151,50	0,033*	10,232*	-*	6,482	-*	-*
5	278,00	166,00	0,8	193,50	3,913	9,421	3,719	6,395	0,0136	-
6	165,00	69,33	0,4	142,00	-*	-*	-*	-*	-*	-*
7	204,00	47,33	0,4	61,50	0,718	10,094	-	6,853	-	-

8	255,00	114,00	0,8	126,00	0,015*	9,290*	-*	6,229	-*	-*
9	207,00	53,50	0,8	47,70	0,016*	10,906*	-*	8,090	-*	0,185*
Reserv.	123,00	27,67	0,4	52,95	0,750	8,737	-	6,061	-	-

5º EVENTO



Amostra	COD (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Sólidos sedim. (mL/L)	Turbidez (NTU)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)
1	10,13	206,50	41,50	0	36,05	1,151	11,386	-	8,172	-
2	17,85	194,50	31,30	0	25,20	0,522	12,606	-	9,294	-
3	16,97	165,50	25,50	0	15,25	0,190	2,358	-	3,450	-
4	40,88	202,00	45,00	0	21,60	1,167	12,207	-	8,363	-
5	6,448	216,00	78,00	0,4	63,70	-*	9,494	-*	5,387	-*

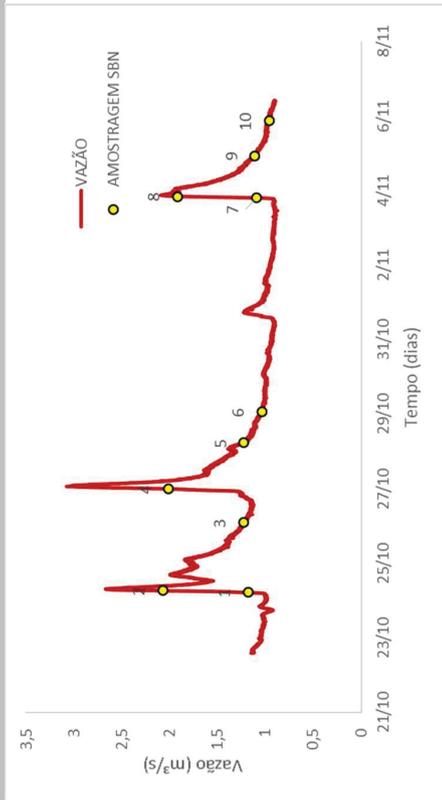
6	6,619	215,00	91,50	0,4	66,90	-*	10,138	-*	5,787	-*
7	3,578	229,00	58,50	0,4	96,35	2,655	9,452	1,017	6,162	-
8	15,35	187,50	46,50	0,4	46,65	1,208	9,629		7,203	-
9	16,34	186,50	15,00	0,4	25,90	-*	12,158	-*	7,519	-*
10	3,592	258,00	153,00	0,8	152,50	-*	10,713	-*	6,847	-*
11	3,194	352,00	186,00	2	260,00	2,229	4,319	1,289	3,805	-
12	4,147	482,00	277,00	3,2	356,50	10,291	10,248	9,912	6,795	0,100
13	4,155	474,00	281,00	1,6	361,50	11,894	10,532	12,033	6,812	0,186
14	4,95	549,00	502,00	3,2	661,00	17,325	11,118	21,172	7,635	0,258
15	9,137	548,00	521,00	3,2	563,50	3,626	5,463	2,926	5,311	0,564
16	13,68	677,00	578,00	2	757,50	22,625	9,839	25,722	7,113	0,315
17	9,667	629,00	489,00	2	781,00	19,453	11,085	21,798	7,829	0,267
18	14,38	576,00	422,00	1,6	699,50	19,814	11,353	22,111	7,790	0,239
19	11,63	503,00	382,00	0,8	633,00	13,683	13,204	21,140	8,483	0,175
20	13,44	505,00	382,00	2	550,50	14,012	11,010	15,834	7,385	-
21	10,33	501,00	340,00	2	518,00	3,377	6,536	2,612	5,733	-
22	10,7	331,00	170,00	0,4	219,00	3,082	11,282	2,988	7,375	-
23	11,84	346,00	210,00	0,4	249,50	3,014	12,253	3,092	7,740	-
24	12,43	327,00	188,00	0,8	229,00	3,643	10,306	2,835	6,454	-
Reserv.	10,15	245,00	137,00	0	192,50	3,222	7,641	3,580	5,063	-



1	5,373	269,00	114,50	1,2	102,67	3,316	11,390	3,234	7,321	-
2	5,81	213,00	76,50	0,8	62,67	1,999	12,764	1,520	8,006	-
3	4,2	290,00	77,50	1,2	84,33	1,946	11,588	0,836	7,254	-
4	24,14	1248,0	1058,0	5,6	1132,00	29,864	13,486	39,441	9,497	1,373
5	11,38	332,00	177,00	0,4	283,00	3,675	9,325	3,362	6,682	-
6	12,62	276,00	128,00	0,4	210,00	1,733	4,372	0,533	4,620	-
7	9,101	301,00	156,00	0,8	237,33	6,118	11,715	6,825	7,358	-
8	14,05	197,00	60,00	0,8	93,67	3,139	11,385	2,412	7,492	-
9	7,315	236,00	50,00	1,2	81,00	2,294	13,118	2,080	8,196	-
10	6,239	201,00	91,00	0,8	71,00	1,801	13,365	1,270	8,529	-
11	8,112	224,00	86,94	0,8	86,00	2,208	12,239	2,151	7,533	-
12	17,25	242,00	105,00	0,4	113,67	2,618	10,896	2,346	7,204	-
13	16,74	244,00	125,00	1,2	159,00	2,347	9,995	2,129	6,583	-
14	7,371	241,00	129,00	0,4	133,67	3,572	12,118	3,936	8,067	-
15	9,693	284,00	167,00	1,2	239,67	4,882	9,708	4,317	6,497	-
16	16,36	230,00	84,00	0,8	252,33	6,014	10,225	5,690	6,680	-
17	19,7	224,00	108,00	0,4	187,67	3,637	11,039	2,768	7,148	-
18	16,21	206,00	75,33	0,4	117,00	3,071	11,213	1,932	7,143	-
19	14,35	189,00	69,00	0,4	91,67	0,877	10,533	0,709	7,171	-
20	7,81	372,00	201,00	0,8	364,0	2,252	9,903	3,177	6,558	-
21	9,333	360,00	224,00	1,2	381,0	1,857	4,929	9,623	5,007	-
22	14,97	516,00	569,00	4	769,7	3,682	4,337	18,667	4,558	-
23	13,59	718,00	587,00	4	883,0	8,604	9,748	3,039	6,212	-

24	15,56	616,00	467,00	1,6	756,7	15,112	9,362	-	6,345	0,177
Reserv.	8,79	192,00	70,00	0	195,0	3,445	7,405	-	4,482	-

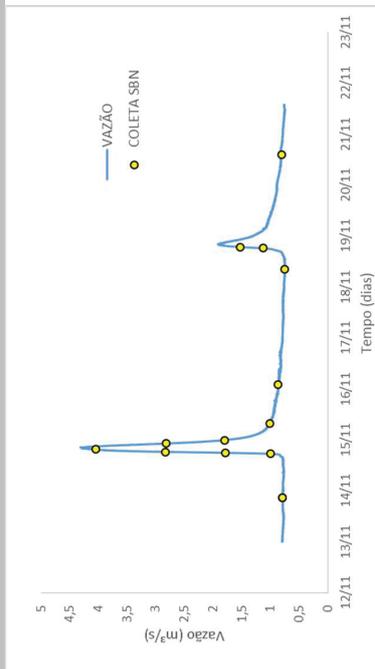
7º EVENTO



Amostra	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Sólidos sedim. (mL/L)	Turbidez (NTU)
1	250,00	126,67	0,8	97,00
2	305,00	192,00	2,4	124,00
3	185,00	138,30	0,8	44,00
4	182,00	74,67	0,8	55,50
5	220,00	123,94	1,2	64,00

6	178,00	120,00	0,8	42,50
7	219,00	102,50	1,2	45,50
8	238,04	191,43	0,4	81,00
9	226,25	96,00	0,8	78,00
10	216,00	90,00	0,4	56,50

8º EVENTO



Amostra	COD (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Sólidos sedim. (mL/L)	Turbidez (NTU)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)
1	8,221	230,00	85,00	2	42,67	1,572	12,972	1,075	9,315	-	-
3	4,548	170,00	30,50	0,4	29,33	0,777	10,859		8,445	-	-
4	5,872	318,00	164,00	2,4	150,67	3,542	10,447	4,381	7,682	0,084	-
5	12,19	412,00	328,00	2,4	253,67	7,743	9,347	9,566	5,912	0,118	0,036

6	6,87	418,00	291,00	2,4	251,33	6,129	12,040	8,398	8,757	0,164	-
7	3,103	416,00	300,00	0,8	288,67	6,265	8,966	7,540	6,361	0,052	-
8	3,343	446,00	326,00	2	390,33	8,054	9,720	9,775	6,371	-	-
9	3,035	212,00	76,00	0,4	57,67	1,628	11,422	0,350	7,562	-	-
10	2,496	182,00	40,00	0,8	39,00	1,279	13,344	-	9,557	-	-
11	3,136	228,00	92,00	1,2	46,00	0,512	10,934	-	8,137	-	-
12	2,294	248,00	116,67	1,2	77,67	2,007	11,946	0,686	8,461	-	-
13	3,318	148,00	49,50	0,4	39,33	0,877	11,254	-	8,642	-	-

9º EVENTO



Amostra	COD (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos susp. (mg/L)	Sólidos sedim. (mL/L)	Turbidez (NTU)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)
	1,892	122,00	5,50	0	7,00	0,039	11,788	-	9,154	-	-

2	1,727	116,50	8,00	0	8,67	0,096	11,330	-	8,390	-	-
3	1,654	138,50	27,67	0	16,33	0,271	11,916	-	8,878	-	-
4	1,639	153,00	22,67	0	19,33	0,238	11,519	-	8,884	-	-
5	4,454	207,50	70,00	2	54,00	0,268	11,140	-	8,387	-	-
6	2,322	281,00	202,00	1,2	243,00	2,092	11,305	1,075	8,236	-	-
7	3,613	446,50	325,00	2,4	291,33	2,899	2,816	2,348	2,905	-	-
8	3,015	344,50	252,00	2,4	280,67	6,930	10,354	8,594	7,024	0,137	-
9	3,232	449,50	356,00	2,8	397,00	7,027	8,970	10,619	6,147	0,224	-
10	3,398	636,00	546,00	2	744,33	12,592	8,170	17,445	5,563	0,286	-
11	3,941	410,00	265,00	0,8	366,00	7,927	11,267	13,519	7,044	0,0837	0,135
12	4,067	338,50	294,00	0,8	310,33	4,627	9,502	5,807	6,497	-	-
13	3,709	238,50	160,67	0,8	171,33	2,329	5,888	0,546	4,081	-	-
14	3,011	157,00	127,67	1,6	97,33	1,034	8,565	-	6,092	-	-
15	3,032	167,50	63,67	0,8	38,50	0,597	10,685	-	7,713	-	-

## ANEXO 1 – SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÃO FORNECIDA PELO SIH



Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

AGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná

Sistema de Informações Hidrológicas - SIH



### Relatório de tabela cota (cm) / vazão (m³/s)

Estação:	BR 277 - CAMPO LARGO	Código:	65021800	Entidade:	ANA
Município:	Curitiba	Instalação:	01/06/1984	Extinção:	
Tipo:	F.Fr.Q.D.S.T.	Bacia:	Iguaçu	Sub-bacia:	1
Altitude:	892,390 m	Latitude:	-25,4272222	Longitude:	-49,3882778
Rio:	Rio Passaúna	Área drenagem:	92,03 km²	Classe:	2

Período: 19/06/2016 a 31/12/2018

Cota	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10						0,390	0,410	0,430	0,450	0,470
20	0,490	0,514	0,538	0,562	0,586	0,610	0,634	0,658	0,682	0,706
30	0,730	0,758	0,786	0,814	0,842	0,870	0,898	0,926	0,954	0,982
40	1,020	1,052	1,084	1,116	1,148	1,180	1,212	1,244	1,276	1,308
50	1,350	1,388	1,426	1,464	1,502	1,540	1,578	1,616	1,654	1,692
60	1,740	1,782	1,824	1,866	1,908	1,950	1,992	2,034	2,076	2,118
70	2,180	2,228	2,276	2,324	2,372	2,420	2,468	2,516	2,564	2,612
80	2,680	2,732	2,784	2,836	2,888	2,940	2,992	3,044	3,096	3,148
90	3,230	3,288	3,346	3,404	3,462	3,520	3,578	3,636	3,694	3,752
100	3,830	3,896	3,962	4,028	4,094	4,160	4,226	4,292	4,358	4,424
110	4,490	4,561	4,632	4,703	4,774	4,845	4,916	4,987	5,058	5,129
120	5,200	5,277	5,354	5,431	5,508	5,585	5,662	5,739	5,816	5,893
130	5,970	6,053	6,136	6,219	6,302	6,385	6,468	6,551	6,634	6,717
140	6,800	6,889	6,978	7,067	7,156	7,245	7,334	7,423	7,512	7,601
150	7,690	7,784	7,878	7,972	8,066	8,160	8,254	8,348	8,442	8,536
160	8,630	8,731	8,832	8,933	9,034	9,135	9,236	9,337	9,438	9,539
170	9,640	9,746	9,852	9,958	10,064	10,170	10,276	10,382	10,488	10,594
180	10,700	10,812	10,924	11,036	11,148	11,260	11,372	11,484	11,596	11,708
190	11,820	11,938	12,056	12,174	12,292	12,410	12,528	12,646	12,764	12,882
200	13,000	13,125	13,250	13,375	13,500	13,625	13,750	13,875	14,000	14,125
210	14,250	14,380	14,510	14,640	14,770	14,900	15,030	15,160	15,290	15,420
220	15,550	15,686	15,822	15,958	16,094	16,230	16,366	16,502	16,638	16,774
230	16,910	17,050	17,190	17,330	17,470	17,610	17,750	17,890	18,030	18,170
240	18,310	18,461	18,612	18,763	18,914	19,065	19,216	19,367	19,518	19,669
250	19,820									

Altura mínima de  
Altura máxima de

15 cm. com vazão de  
250 cm. com vazão de

0,390 m³/s  
19,820 m³/s

FONTE: SIH (2019)