

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Ana Flavia Brancalion Costa**

**SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO LANÇAMENTO DE  
EFLUENTES EXTRAVASADOS PELA CÂMARA DE  
CHEGADA DA ETE MATO GRANDE UTILIZANDO O  
CENÁRIO: RIO GRAVATAÍ COMO CORPO RECEPTOR**

Porto Alegre  
Dezembro/2018

**ANA FLAVIA BRANCALION COSTA**

**SIMULAÇÃO DO IMPACTO DO LANÇAMENTO DE  
EFLUENTES EXTRAVASADOS PELA CÂMARA DE  
CHEGADA DA ETE MATO GRANDE UTILIZANDO O  
CENÁRIO: RIO GRAVATAÍ COMO CORPO RECEPTOR**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Fernando Mainardi Fan**

Porto Alegre  
Dezembro/2018

Dedico este trabalho a meus pais, José Aldoir e Ivonete,  
que sempre me apoiaram e mesmo de longe, sempre  
estiveram comigo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Fernando Mainardi Fan, por ser desde a primeira aula para minha turma, uma inspiração de acadêmico e pessoa; pela orientação deste trabalho e por sempre estar disposto a resolver as dúvidas que chegavam até nos últimos dias de elaboração.

Agradeço a minha família, Ivonete, José Aldoir e Vitória, que entenderam minha ausência nos meses em que este trabalho foi realizado, bem como ao João Marcelo que também teve paciência e me deu apoio nessa jornada.

Agradeço aos amigos que estiveram presentes na elaboração deste trabalho, principalmente na fase da simulação, aos que foram companheiros de estrada até o IPH e aos que também entenderam que a dedicação a este trabalho, levaria a minha ausência em alguns momentos.

Se as coisas são inatingíveis, ora! Não é motivo para não querê-las. Que tristes os caminhos, se não fora a presença distante das estrelas.

*Mário Quintana*

## RESUMO

A preservação da água de qualidade é muitas vezes deixada de lado pela concepção de que este recurso está disponível de forma ilimitada. Assim, este trabalho analisa o cenário em que o Rio Gravataí é corpo receptor de águas da ETE Mato Grande no cenário de extravasamento da câmara de chegada. Fazendo-se uso do modelo de qualidade de água CE-QUAL-W2 para mensuração dos efeitos do lançamento de efluentes diluídos, porém sem tratamento, no leito do corpo de água. Primeiramente, prepararam-se os dados de inserção no modelo: batimetria, série de vazões simuladas, série de temperaturas, qualidade natural do Rio simulado, cargas presentes no lançamento simulado e geometria do canal de lançamento. Depois estabeleceram-se os cenários específicos de análise. Após a realização das simulações descritas na metodologia, avaliou-se o comportamento dos parâmetros de DBO, OD, Nitrogênio e Fósforo. Quanto aos resultados, percebeu-se duas condições distintas. Com a simulação dos primeiros dois cenários, teve-se como conclusões preliminares, que para as vazões maiores, a inserção de uma vazão dos efluentes excedentes da ETE Mato Grande, teria um impacto menos significativo que em pequenas vazões. Assim, como o by-pass, funcionaria apenas em eventos de chuva, onde as vazões no rio também são grandes, teve-se a primeira impressão de que o impacto observado, não seria tão negativo e importante para a qualidade do rio. Entretanto, nos outros dois cenários também analisados, pode-se perceber, que o impacto causado pelo efluente nas grandes vazões era menos significativo logo no início, porém, mais a jusante deste ponto de lançamento, pode-se observar que o rio demorava ou não era observado o retorno das condições iniciais em que o rio se encontrava.

Palavras-chave: Rio Gravataí. CE-QUAL-W2.  
Simulação. Qualidade da água.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estações de monitoramento no Rio Gravataí.....	29
Figura 2 - Parâmetros de emissão de efluentes .....	35
Figura 3 - Poluentes Orgânicos Permanentes vedados.....	36
Figura 4 - Faixas de vazão do efluente e seus respectivos valores de concentração dos parâmetros relacionados .....	36
Figura 5 - Faixas de vazão do efluente líquido sanitário e seus respectivos valores de concentração dos parâmetros relacionados.....	37
Figura 6 - Faixas de vazão do efluente e seus respectivos valores de concentração de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo .....	37
Figura 7 - Delimitação da área da bacia hidrográfica do Rio Gravataí, com indicação das sedes municipais .....	39
Figura 8 - Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.....	40
Figura 9 - Regime das chuvas na região de estudo.....	44
Figura 10 - Enquadramento de águas do rio Gravataí.....	47
Figura 11 - Fluxograma das etapas de realização do trabalho.....	66
Figura 12 - Hidrografia da base cartográfica do Rio Grande do Sul (1:250 000).....	67
Figura 13 - Rio Gravataí através da Base Cartográfica do RS .....	68
Figura 14 - Discretização Trecho Inferior Rio Gravataí.....	69
Figura 15 - Detalhe de discretização .....	69
Figura 16 - Perfil Longitudinal no Modelo .....	70
Figura 17 - Localização Estação Passo das Canoas Auxiliar .....	70
Figura 18 - Seção Transversal Rio Gravataí.....	71
Figura 19 - Série de Vazões x Permanência .....	73
Figura 20 - Temperaturas Médias Rio Gravataí x Temperaturas POA 2017 .....	74
Figura 21 - Localização das estações de controle na bacia do Rio Gravataí.....	75
Figura 22 - Dados de DBO nas estações de monitoramento da FEPAM .....	76
Figura 23- Dados de OD nas estações de monitoramento da FEPAM.....	77
Figura 24 - Dados de Nitrogênio Amoniacal Total nas estações de monitoramento da FEPAM .....	78
Figura 25 - Dados de Fósforo Total nas estações de monitoramento da FEPAM.....	79
Figura 26 - Localização das Estações de monitoramento da CORSAN.....	79
Figura 27 - Dados de DBO nas estações de monitoramento da CORSAN .....	80
Figura 28 - Dados de OD nas estações de monitoramento da CORSAN.....	81
Figura 29 - Canal Extravasor Simulado (ETE Mato Grande até o Rio Gravataí).....	82
Figura 30 - Medições largura da base - Canal Extravasor simulado ETE Mato Grande .....	83

Figura 31 - Cenários Simulados .....	86
Figura 32 - Localização em imagens de satélite da estação Foz do Gravataí .....	88
Figura 33 - Localização Estação Foz do Rio Gravataí .....	88
Figura 34 - Profundidade Rio Gravataí 1998 - 2010 .....	89
Figura 35 - Elevação da Superfície de Água na simulação .....	89
Figura 36 - Temperaturas Rio Gravataí 1992 - 2010.....	90
Figura 37 - Temperaturas obtidas na simulação .....	91
Figura 38 - DBO medida pelo Plano de Bacia 1992 - 2010.....	92
Figura 39 - Valores de DBO simulados .....	93
Figura 40 - Nitrogênio Amoniacal Total medido pelo Plano de Bacia 1998 - 2010.....	93
Figura 41 - Valores de Nitrogênio Total simulados .....	94
Figura 42 - Fósforo Total medido pelo Plano de Bacia 1992 - 2010 .....	94
Figura 43 - Valores de Fósforo Total simulados .....	95
Figura 44 - Oxigênio Dissolvido medido pelo Plano de Bacia 1992 - 2010.....	96
Figura 45 - Valores de Oxigênio Dissolvido simulados.....	97
Figura 46 - Dados medidos na estação Foz do Rio Gravataí (1992 - 2010).....	98
Figura 47 – Comparação: simulação de OD e série de temperaturas .....	99
Figura 48 - Comparação: simulação de Nitrogênio Total e série de temperaturas.....	100
Figura 49 - Comparação: simulação de DBO e série de temperaturas .....	101
Figura 50 - Comparação: simulação Fósforo Total e série de temperaturas .....	101
Figura 51 - Simulação: Vazões - Cenários 1 e 2 .....	102
Figura 52 - Simulação: Vazões - Cenários 1 e 2 (segmentos 45 e 46).....	103
Figura 53 - Simulação: DBO - Cenário 1 .....	103
Figura 54 - Simulação: DBO - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47).....	104
Figura 55 - Simulação: NT - Cenário 1 .....	105
Figura 56 - Simulação: NT - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47) .....	105
Figura 57 - Simulação: PT - Cenário 1 .....	106
Figura 58 - Simulação: PT - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47).....	107
Figura 59 - Simulação: OD - Cenário 1.....	107
Figura 60 - Simulação: OD - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47).....	108
Figura 61 - Simulação: DBO - Cenário 2.....	109
Figura 62 - Simulação: DBO - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47).....	109
Figura 63- Simulação: NT - Cenário 2 .....	110
Figura 64 - Simulação: NT - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47) .....	110
Figura 65 - Simulação: PT - Cenário 2.....	111

Figura 66 - Simulação: PT - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47).....	111
Figura 67 - Simulação: OD - Cenário 2.....	112
Figura 68 - Simulação: OD - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47).....	113
Figura 69 - Simulação: Vazões - Cenários 3 e 4 .....	113
Figura 70 - Simulação: Vazões - Cenários 3 e 4 (segmentos 27 e 29).....	114
Figura 71 - Simulação: DBO - Cenário 3 .....	114
Figura 72 - Simulação: DBO - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47).....	115
Figura 73 - Simulação: NT - Cenário 3 .....	116
Figura 74 - Simulação: NT - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47).....	117
Figura 75 - Simulação: PT - Cenário 3.....	117
Figura 76 - Simulação: NT - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47).....	118
Figura 77 - Simulação: OD - Cenário 3.....	118
Figura 78 - Simulação: OD - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47).....	119
Figura 79 - Simulação: DBO - Cenário 4 .....	120
Figura 80 - Simulação: DBO - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47).....	120
Figura 81 - Simulação: NT - Cenário 4 .....	121
Figura 82 - Simulação: NT - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47).....	121
Figura 83 - Simulação: PT - Cenário 4.....	122
Figura 84 - Simulação: PT - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47).....	122
Figura 85 - Simulação: OD - Cenário 4.....	123
Figura 86 - Simulação: OD - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47).....	124
Figura 87 - Perfil Longitudinal Simulação .....	126
Figura 88 - Destaque para os ângulos dos segmentos simulados .....	126
Figura 89 - Segmentos simulados.....	126
Figura 90 – Oxigênio Dissolvido - Date: 205.....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formas preponderantes de nitrogênio nas diferentes condições de poluição .....	23
Tabela 2 - Médias mensais de número de dias de chuva por sub-bacia do Rio Gravataí (1961-2004) .....	43
Tabela 3 - Série de Vazões simulada.....	72
Tabela 4 - Média de moradores por domicílio - Canoas 2010 .....	84
Tabela 5 - Concentrações dos parâmetros simulados no esgoto .....	85
Tabela 6 - Enquadramento Rio Gravataí .....	124

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Agência Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Preservação Ambiental

APABG – Área de Preservação Ambiental Banhado Grande

BHRG – Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí

CF – Coliformes Fecais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

COT – Carbono Orgânico Total

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CT – Coliformes Totais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO<sub>u</sub> – Demanda Bioquímica Última de Oxigênio

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos

DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DQO<sub>5</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C)

DRH – Departamento de Recursos Hídricos

EC – *Escherichia Coli*

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

EUA – Estados Unidos

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IGEO – Instituto de Geociências (UFRGS)

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LARM – *Laterally Averaged Reservoir Model*

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número mais provável

OD - Oxigênio Dissolvido

pH - Potencial Hidrogênioônico

PIB – Produto Interno Bruto

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

SAMAE – Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto

SANEP – Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas

SEMA – Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto

SISEPRA – Sistema Estadual de Proteção Ambiental

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SOP – Secretaria de Obras Públicas, Irrigação e Desenvolvimento Urbano

SST – Sólidos Suspensos Totais

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

USGS – *United States Geological Survey*

W2 – CE-QUAL-W2

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_x$  – viscosidade turbulenta na direção longitudinal

$A_z$  – viscosidade turbulenta na direção vertical

$C_0$  – concentração do constituinte na mistura

$C_e$  – concentração do constituinte no esgoto, imediatamente a montante do ponto de mistura

$C_r$  – concentração do constituinte no rio, imediatamente a montante do ponto de mistura

$C_s$  – concentração de saturação de oxigênio

$C_t$  – concentração de oxigênio dissolvido

$D_0$  – déficit inicial de oxigênio, logo após a mistura

$DBO_5$  – concentração de  $DBO_5$  do rio

$DBO_{5_0}$  – concentração  $DBO_5$ , logo após a mistura

$DBO_e$  – concentração de  $DBO_5$  do rio

$DBO_r$  – concentração de  $DBO_5$  do rio

$DBO_u$  – concentração de  $DBO_u$  do rio

$D_x$  – coeficiente longitudinal de dispersão do constituinte e temperatura

$D_z$  – coeficiente vertical de dispersão do constituinte e temperatura

$K_1$  – coeficiente de desoxigenação

$K_T$  – constante para transformação da  $DBO_5$  a  $DBO$  última

$K_s$  – coeficiente de perda de fósforo por sedimentação

$L_0$  –  $DBO$  remanescente em  $t=0$

$N_0$  – concentração de coliformes no ponto da mistura

$N_e$  – concentração de coliformes nos esgotos

$N_{ep}$  – concentração máxima permissível de coliformes nos esgotos

$N_{op}$  – concentração máxima permissível de coliformes no ponto de mistura, em função da legislação ambiental

$N_r$  – concentração de coliformes no rio, a montante do lançamento

$OD_e$  – concentração de oxigênio dissolvido no esgoto

$OD_r$  – concentração de oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento dos despejos

$Q_{chr}$  – vazão de referência do corpo hídrico

$Q_e$  – vazão de esgotos

$Q_r$  – vazão do rio, a montante do lançamento

$S_\Phi$  – termo de perdas ou ganhos das médias laterais do constituinte

$b_\eta$  – variação temporal e espacial da largura da superfície

$q_\Phi$  – taxa de carga de entrada e saída lateral do constituinte

Cd – Cádmio

Cu – Cobre

$g$  – aceleração da gravidade

$h$  – profundidade total

Hg – Mercúrio

Zn – Zinco

$\Phi$  – concentração média transversal do elemento

$L$  – carga afluyente de fósforo

$P$  – concentração de fósforo no corpo d'água

$V$  – volume da represa

$b$  – largura do corpo d'água

$p$  – pressão

$q$  – contribuição lateral para a vazão de entrada e saída

$t$  – tempo

$t$  – tempo

$u$  – velocidade média longitudinal

$w$  – velocidade média vertical

$x$  – coordenadas cartesianas longitudinais

$y$  – DBO exercida

$z$  – coordenadas cartesianas verticais

$z$  – localização da superfície livre

$\rho$  – densidade

$Q$  – vazão

$n$  – coeficiente de Manning (rugosidade)

$A$  – área do canal

$R_h$  – raio hidráulico (relação entre área molhada e perímetro molhado)

$I$  – inclinação do fundo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA .....	18
3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA .....	29
3.3 BACIA DO RIO GRAVATAÍ E SUA QUALIDADE DA ÁGUA .....	37
3.4 DESAFIOS A SEREM TRABALHADOS NA QUALIDADE DA ÁGUA .....	49
3.5 VISÃO GERAL DE MODELOS DE QUALIDADE DE ÁGUA .....	54
3.6 CE-QUAL-W2 .....	60
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>66</b>
4.1 GEOMETRIA E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO GRAVATAÍ SIMULADAS .....	67
4.2 ESTIMATIVA DAS CARGAS PRESENTES NO ESGOTO .....	81
4.3 CENÁRIOS SIMULADOS .....	85
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>87</b>
5.1 CALIBRAÇÃO .....	87
5.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	98
5.3 RESULTADOS - PONTO A: CENÁRIOS 1 E 2 .....	101
5.3.1 <i>Cenário 1</i> .....	103
5.3.1 <i>Cenário 2</i> .....	108
5.4 RESULTADOS - PONTO B: CENÁRIOS 3 E 4 .....	112
5.4.1 <i>Cenário 3</i> .....	113
5.4.1 <i>Cenário 4</i> .....	119
5.5 ENQUADRAMENTO .....	122
5.6 PÓS-PROCESSADOR .....	124
<b>6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>130</b>
ANEXO A .....	136

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a disponibilidade de água é um assunto em pauta em discussões ao redor do mundo inteiro. Por ser uma necessidade primordial da vida na terra, a água é um recurso que deve ser preservado para que esteja disponível para as futuras gerações. Todavia, sendo, de certa forma, abundante no planeta, a preservação da água de qualidade é muitas vezes deixada de lado pela concepção de que este recurso está disponível de forma ilimitada. Porém, deve-se atentar ao fato de que a maior parte do volume de água encontrado na terra, não está disponível ou tem um acesso difícil para o abastecimento humano e demais necessidades, como uso na indústria, irrigação e dessedentação de animais. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) mais de 97% da água do mundo é salgada, sendo ainda que a água doce está em sua grande parte em difícil acesso como nas geleiras localizadas nos polos do globo terrestre. O restante da água doce ainda está dividido entre água subterrânea e superficial, sendo essa última aproximadamente 1% da água doce do planeta, portanto um número extremamente baixo em relação ao total de volume de água disponível no mundo.

Além disso, a água também não está distribuída de forma geograficamente equivalente por todo o planeta. Tendo assim, áreas com grande disponibilidade de água doce e áreas afastadas dessas fontes que enfrentam diversas dificuldades para a sobrevivência de suas comunidades, já que grande parte das atividades desenvolvidas pelo ser humano fica comprometida com a falta de água. Somados a estes problemas de distribuição, a qualidade da água é um parâmetro de importante avaliação, já que mesmo quando há a disponibilidade de água, ela pode ser de má qualidade, sendo assim, mais um motivo de restrição de uso.

Esta qualidade é afetada diretamente pelas atividades humanas no planeta Terra, já que muitas dessas atividades captam a água própria para uso e a devolvem ao ciclo comprometida pela adição de diversos componentes. Um exemplo de fonte poluidora é o esgoto sanitário que segundo a norma brasileira NBR 96648 (ABNT, 1986) é o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Nesse âmbito, também cabe ressaltar que a Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981), importante documento que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, determina em seu artigo 3º que:

Poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981, p. 1).

A poluição, seja na forma de despejo irregular de esgotos sanitários, ou de outro mecanismo qualquer, afeta a qualidade da água resultando em impacto ambiental negativo muitas vezes de elevada magnitude. Porém, como a preocupação com a disponibilidade e qualidade de água não é um tema recente, diversos mecanismos têm sido elaborados ao longo dos anos para que as comunidades possam conviver em equilíbrio com os recursos hídricos, usufruindo desses com sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, verifica-se uma grande quantidade de leis no Brasil que buscam essa convivência harmoniosa, penalizando de forma criminal, inclusive, o poluidor no caso do descumprimento das mesmas. As diversas leis, estipulam parâmetros para o descarte das águas, já utilizadas em alguma atividade, de volta à natureza.

Assim, um mecanismo criado como aliado na manutenção da qualidade das águas é o tratamento de efluentes. Domésticos ou industriais, os resíduos líquidos necessitam de tratamento para eliminar os componentes que foram agregados durante seu uso, podendo ser até mesmo organismos patológicos que podem causar doenças em animais e seres humanos. Em cidades de menor porte, a realidade do tratamento de esgoto ainda não é muito presente, sendo este descartado em sua maioria diretamente no solo, podendo ter um tratamento preliminar ou não. Entretanto, nas grandes cidades o tratamento de efluentes já é bastante difundido e realizado, já que nesses locais a carga de esgotamento sanitário gerado é muito grande e certamente a capacidade de absorção do solo para essa carga não seria suficiente.

No Brasil, cerca de 44% do esgoto doméstico é tratado (SNIS, 2016). Sendo que a maioria desse tratamento é realizado por companhias públicas que executam os serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto. No estado do Rio Grande de Sul não é diferente. A maior parte dos municípios possui atendimento de saneamento coberto pela estatal CORSAN, Companhia Riograndense de Saneamento; algumas cidades são atendidas por companhias/departamentos municipais – sendo algumas delas cidades de grande porte como Porto Alegre atendida pelo DEMAÉ; São Leopoldo pelo SEMAÉ; Caxias do Sul pelo SAMAE e Pelotas atendida pelo SANEP. Ainda se tem municípios que passaram a considerar utilizar a iniciativa privada para

realização desses serviços, como é o caso de Uruguaiana, pioneira em 2011 no Estado a privatizar esse sistema.

A CORSAN está presente em 316 municípios do Rio Grande do Sul, sendo responsável pelo saneamento dessas referidas cidades e abastecendo cerca de dois terços da população do Estado. A empresa estatal teve sua criação em 1965, porém foi oficialmente instalada apenas em 1966, completando, portanto, atualmente mais de 50 anos no abastecimento de água e tratamento de esgoto. O abastecimento de água da empresa é um sistema presente em todos os municípios de responsabilidade da CORSAN, enquanto o sistema de tratamento de esgotos ainda não está instalado ainda na maioria das cidades, porém prevê-se que em alguns anos essa situação possa ser mudada.

No município de Canoas, um dos maiores do Rio Grande do Sul, a CORSAN é responsável pelo saneamento. Essa cidade conta com o abastecimento de água e também com o tratamento de esgoto realizado na ETE Mato Grande. Esta estação de tratamento de esgotos opera com um sistema de lodos ativos por aeração prolongada, possuindo fluxo contínuo e sendo composta estruturalmente por gradeamento de sólidos grosseiros, sistema de gradeamento para sólidos com menor granulometria, desarenador, tanque de aeração, decantadores, adensador de lodo e leitos de secagem. O tempo estimado de permanência do esgoto na estação é de cerca de 30 horas (Canal Chies, 2016).

Nesse âmbito, ressalta-se que o sistema de coleta de esgotos pode ser classificado em separador absoluto, separador parcial ou misto (Tsutiya; Bueno, 2004), porém, na prática apenas os sistemas combinado e separador absoluto são utilizados (Pinto; Cavassola, 2011). No Brasil, o sistema de coleta de esgoto mais adotado (pois é tradicionalmente exigido por lei) é o sistema separador absoluto onde a coleta de efluentes é realizada de maneira separada da coleta de águas pluviais (Noro, 2012). Esse sistema deveria possuir uma fiscalização eficiente para que pudesse operar de forma eficaz, porém essa fiscalização é quase nula no Brasil (Tsutiya; Alem Sobrinho; 2000). Sendo assim, em muitas localidades o esgoto sanitário e o pluvial são irregularmente coletados juntos e seguem para a estação de tratamento de esgoto. Na estação de tratamento de Canoas, pode-se notar essa situação, sendo que em eventos de chuvas mais extremas a vazão de efluentes que chega na ETE é maior que a capacidade de suporte da câmara de chegada,

fazendo com que um sistema extravasor seja acionado e levando a carga de excedentes de esgotos combinada com a água oriunda da chuva diretamente para o rio receptor.

O cenário analisado neste trabalho tem como corpo receptor de águas da ETE Mato Grande o Rio Gravataí. Importante corpo d'água que possui uma bacia hidrográfica englobando cerca de 9 municípios e afetando mais de um milhão de habitantes. Este rio, além de abastecer grande parte da população de sua bacia, tem importante participação no PIB estadual, já que é muito utilizado na agricultura da região, tendo como principal insumo produzido o arroz. Nesse cenário, onde o rio Gravataí possui importância elevada para diversas comunidades do estado, analisa-se a capacidade de adaptação do mesmo quanto ao recebimento de cargas poluidoras.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho procura responder ao seguinte questionamento: “Qual a capacidade de suporte do Rio Gravataí como corpo de água receptor de vazões excedentes na câmara de chegada da ETE Mato Grande da cidade de Canoas?”. Almejando que os resultados obtidos sejam mais uma ferramenta de auxílio na gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí e na mensuração dos impactos ambientais que ocorrem nesse ambiente.

Nesse sentido, procura-se desenvolver uma avaliação entre as condições normais de escoamento do rio Gravataí (corpo receptor) e o cenário no qual o corpo recebe águas servidas da ETE Mato Grande, quando em períodos de chuvas consideráveis esta recebe uma vazão muito maior do que a vazão de operação da mesma, causada pelas ligações irregulares do sistema pluvial na rede coletora de esgoto no município de Canoas, levando ao acionamento do sistema de extravasor da câmara de chegada da estação de tratamento, o que transportaria, assim, o efluente recebido diretamente para o Rio Gravataí sem nenhum tipo de tratamento prévio.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Avaliação do uso de um modelo de qualidade de água no Rio Gravataí para mensuração dos efeitos do lançamento de efluentes diluídos, porém sem tratamento, no leito do corpo de água;
- Análise dos parâmetros de DBO – demanda bioquímica de oxigênio, OD – oxigênio dissolvido, Nitrogênio e Fósforo;
- Avaliação dos resultados obtidos em comparação à legislação ambiental brasileira vigente, obedecendo os padrões de classe de água estabelecidos para o rio Gravataí;
- Avaliação da possível utilização deste Rio como corpo receptor da ETE.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A vasta literatura encontrada sobre o tema da preservação do meio ambiente, também se mostra muito rica nas especificações de qualidade de água. Este capítulo busca relatar conceitos e informações importantes para o desenvolvimento do trabalho, pautando-se basicamente em conceitos fundamentais, que são a chave de partida para construção das ideias apresentadas e ainda em uma revisão de outros trabalhos que de alguma forma contém assuntos relacionados ao deste trabalho e assim ratificam a necessidade e importância do assunto abordado.

Ainda, esta revisão da literatura busca abordar de forma mais detalhada as especificações técnicas e científicas já consolidadas no mundo acadêmico e utilizadas na prática de diagnóstico da qualidade da água abordando questões técnicas, além dos parâmetros utilizados para que se tenha uma padronização no enquadramento dos corpos de água, permitindo assim, comparações entre os mesmos. Também se aborda a legislação ambiental vigente, em termos nacionais e estaduais, buscando-se que os resultados analisados e obtidos estejam sempre de acordo com estes parâmetros estabelecidos. Indica-se também questões e informações básicas e importantes para o prosseguimento do trabalho, sobre as características da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, suas peculiaridades e a situação que se encontra atualmente.

Finalmente, será descrito um breve resumo dos modelos de qualidade de água que são utilizados atualmente, bem como a importância deles no cenário de análise da qualidade de corpos de água; seguido da apresentação do modelo escolhido para ser utilizado - CE-QUAL-W2; suas características, capacidades, limitações e um pouco de seu funcionamento.

Além dos objetivos já citados, este capítulo busca uma contextualização mais detalhadas das informações contidas no presente trabalho.

#### **3.1. QUALIDADE DA ÁGUA**

Segundo Von Sperling (2014, p. 13) “a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica.”. Assim, quando se analisa a qualidade de um determinado corpo de água, deve-se atentar para

as características naturais destas águas, mas, principalmente deve-se analisar os efeitos antrópicos que afetam essas condições, levando-se em conta não somente os efeitos diretos de descarga de efluentes por exemplo, mas também toda uma gama de usos do solo, urbanização, poluição em suas diversas formas, enfim, todo efeito que direta ou indiretamente afeta o corpo de água na maioria das vezes no sentido negativo, acarretando em restrições de usos que essa água poderá servir.

Nesse sentido, os efluentes domésticos e industriais descartados nos leitos de rios, costumam transformar de forma bastante mensurável a qualidade dos mesmos, já que são oriundos das águas de abastecimento acrescidas de diversos organismos pelo seu uso nos domicílios ou indústrias. Com o tratamento dos esgotos estas cargas poluidoras geralmente são diminuídas substancialmente, porém para serem despejadas nos corpos de água, uma análise nas condições prévias do corpo receptor deve ser feita, para que o efeito da adição não seja cumulativo com pré-condições existentes, gerando, mesmo com o tratamento realizado um impacto negativo.

Para permitir uma avaliação da qualidade da água é necessário o conhecimento de suas características físicas, químicas e biológicas. As características físicas mais importantes ou mais utilizadas na avaliação da qualidade das águas são a temperatura, o sabor e o odor, a cor, a turbidez, os sólidos – que podem estar em suspensão, sendo nesse caso sedimentáveis ou não, ou ainda estarem dissolvidos, podendo ser fixos ou voláteis – e a condutividade elétrica. As características químicas que merecem devidas análises são o pH, a alcalinidade, a acidez, a dureza, o oxigênio dissolvido, as demandas bioquímicas e químicas de oxigênio – DBO e DQO respectivamente, a presença dos elementos químicos: nitrogênio em suas diferentes formas, o fósforo, o ferro, o manganês e a presença de micropoluentes. Já nas características biológicas da água, a estimativa da quantidade de microrganismos de importância sanitária, de bactérias coliformes, de comunidades hidrobiológicas são importantes fontes de avaliação (Brasília: Ministério da Saúde, 2006, p. 44 a 55).

Estas características das águas se convertem em parâmetros que orientados pelos limites e padrões impostos pelas legislações vigentes, orientam a avaliação da qualidade da água. Ademais das características já citadas, Von Sperling (2014) ainda cita como parâmetro químico importante a presença de cloretos.

Determinados de forma qualitativa, os parâmetros da água precisam ser quantificados para que se possa realizar uma avaliação mensurável dos impactos das impurezas presentes na água. Assim sendo, Von Sperling (2014) menciona os seguintes métodos para a quantificação da carga poluidora de esgotos domésticos:

$$carga = concentração \times vazão$$

E ainda:

$$carga = população \times carga \text{ per capita}$$

A FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS, de acordo com o Art. 46 da Resolução CONAMA nº 357 de 2005, estabelece a seguinte metodologia para o cálculo de carga poluidora:

$$carga \left( \frac{t}{ano} \right) = vazão \text{ média} \left( \frac{m^3}{dia} \right) \times concentração \text{ média} \left( \frac{mg}{L} \right) \times n^\circ \left( \frac{dias}{ano} \right) \times 10^{-6}$$

Tendo sido caracterizados os parâmetros que avaliam a qualidade da água, pode-se caracterizar mais especificamente a qualidade dos esgotos, mais precisamente, esgotos domésticos, escopo deste trabalho. Von Sperling (2014), caracteriza sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal como os parâmetros principais na avaliação da qualidade dos efluentes. Sendo considerados como sólidos todos os contaminantes presentes na água.

Nessa questão, Von Sperling (2014) ainda caracteriza a matéria orgânica carbonácea como sendo a causa do problema mais relevante causado pela poluição nas águas, o consumo de oxigênio dissolvido – OD, pelos microrganismos em suas atividades metabólicas. Para determinação desses parâmetros alguns métodos podem ser utilizados, dividindo-se em basicamente dois tipos: métodos diretos de quantificação do carbono e métodos indiretos que indicam a quantidade de oxigênio consumido. O método mais utilizado de medição direta é o Carbono Orgânico Total (COT) e os métodos mais reconhecidos para a determinação indireta de matéria orgânica são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO).

“A DBO retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea.” relata Von Sperling (2014, p. 88), ela usualmente

é classificada em duas formas, como  $DBO_u$  – demanda última de oxigênio – ou  $DBO_5$  – a DBO padrão. A  $DBO_u$  se caracteriza por ser quantificada pela estabilização completa da matéria orgânica, que pode demorar alguns dias, sendo assim, convencionou-se utilizar a  $DBO_5$ , onde a análise é realizada no quinto dia a uma temperatura de 20°C.

Ainda se pode diferenciar o conceito de DBO de duas formas, sendo a DBO remanescente, a concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um determinado instante, e a DBO exercida como sendo o oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica em determinado instante, afirma Sperling (2014). O autor ainda menciona uma formulação para o cálculo da DBO remanescente:

$$L = L_0 \times e^{-K_1 \times t}$$

Sendo:

$L$  – DBO remanescente em um tempo  $t$  qualquer (mg/L);

$L_0$  – DBO remanescente em  $t=0$  (mg/L);

$K_1$  – coeficiente de desoxigenação;

$t$  – tempo.

E um método para o cálculo da DBO exercida:

$$y = L_0 \times (1 - e^{-K_1 \times t})$$

Sendo:

$y$  – DBO exercida em um tempo  $t$  qualquer (mg/L);

$L_0$  – DBO remanescente em  $t=0$  ou DBO exercida em  $t=\infty$ , também denominada demanda última, pelo fato de representar a DBO total ao final da estabilização (mg/L);

$K_1$  – coeficiente de desoxigenação;

$t$  – tempo.

Cabe ressaltar por fim que:

$$y = L_0 - L$$

Para o cálculo da concentração de oxigênio dissolvido, um modelo muito difundido e utilizado é o modelo de Streeter-Phelps (1925), que possibilita a análise do oxigênio presente no corpo de água através de conceitos de reoxigenação, ou seja, de reatuação atmosférica, e de desoxigenação. Assim, a equação geral para a concentração de OD pode ser descrita da seguinte forma:

$$C_t = C_s - \left[ \frac{K_1 \times L_0}{K_2 - K_1} \times (e^{-K_1 \times t} - e^{-K_2 \times t}) + (C_s - C_0) \times e^{-K_2 \times t} \right]$$

Sendo:

$C_t$  – concentração de oxigênio dissolvido (mg/L);

$C_s$  – concentração de saturação de oxigênio (mg/L);

$C_0$  – concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L);

$K_2$  – coeficiente de aeração;

$K_1$  – coeficiente de desoxigenação;

$L_0$  – demanda última de oxigênio logo após a mistura (mg/L);

$t$  – tempo.

A quantificação do parâmetro que representa a quantidade de nitrogênio nas águas é dependente das características desse elemento que pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, amônia livre ou como íon amônio, nitrito e nitrato. Ainda, o nitrogênio possui a característica de poder informar sobre a situação dos corpos de água de acordo com a forma preferencial em que se encontra, mais precisamente, obtém-se informações sobre o estágio de poluição atual dessa água (PROSAB, 2009).

A Tabela 1 indica a condição de poluição do esgoto concorrente com as suas respectivas formas de nitrogênio predominante encontrada:

Tabela 1 - Formas preponderantes de nitrogênio nas diferentes condições de poluição

Condição	Forma Predominante do Nitrogênio
Esgoto bruto	Nitrogênio Orgânico Amônia
Poluição recente em um curso de água	Nitrogênio Orgânico Amônia
Estágio intermediário da poluição em um curso de água	Nitrogênio Orgânico Amônia Nitrito (em menores concentrações) Nitrato
Poluição remota em um curso de água	Nitrato
Efluente de tratamento sem nitrificação	Nitrogênio Orgânico (em menores concentrações) Amônia
Efluente de tratamento com nitrificação	Nitrato
Efluente de tratamento com nitrificação/desnitrificação	Concentrações mais reduzidas de todas as formas de nitrogênio

(fonte: Von Sperling, 2005)

Já quanto ao elemento fósforo, IAWQ (1995) afirma que o fósforo total se apresenta na forma de fosfatos nos efluentes domésticos, sendo classificados nas formas inorgânicas e orgânicas.

Vollenweider (1972) apresenta o modelo mais conhecido e utilizado de quantificação da concentração de fósforo em uma represa. A fórmula empírica que representa esse modelo está relacionada abaixo:

$$P = \frac{L \times 10^3}{V \times \left(\frac{1}{t} + K_s\right)}$$

Sendo:

$P$  – concentração de fósforo no corpo d'água (gP/m<sup>3</sup>);

$L$  – carga afluyente de fósforo (kgP/ano);

$V$  – volume da represa (m<sup>3</sup>);

$t$  – tempo de detenção hidráulica (ano);

$K_s$  – coeficiente de perda de fósforo por sedimentação.

O valor obtido para o coeficiente  $K_s$  por Vollenweider (1972) segundo análises em várias represas foi de:

$$K_s = 1/\sqrt{t}$$

Enquanto Castagnino (1982) refazendo a análise para lagos tropicais chegou em um valor para o coeficiente  $K_s$  de:

$$K_s = 2,25/\sqrt{t}$$

E finalmente, Salas e Martino (1991), analisando dados da América Latina e Caribe, chegou em uma nova relação para  $K_s$ :

$$K_s = 2/\sqrt{t}$$

Von Sperling (2014) ressalta que rearranjando os termos da equação proposta por Vollenweider, pode-se encontrar uma relação direta para a quantificação da carga máxima admissível:

$$L = \frac{P \times V \times \left(\frac{1}{t} + K_s\right)}{10^3}$$

Neste trabalho, as discussões serão pautadas em quatro parâmetros fundamentais. A análise do oxigênio dissolvido – OD – e da demanda bioquímica de oxigênio - DBO<sub>5</sub> para a determinação da matéria orgânica e a quantificação dos elementos químicos Nitrogênio e Fósforo, nas suas diferentes formas. Cabe ressaltar que a determinação de carga em esgotos domésticos é realizada com as mesmas formulações já expostas para qualidade de água em geral.

Uma questão importante na dinâmica dos corpos de água é a autodepuração dos rios, que segundo Von Sperling (2014, p. 134) “está vinculada ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes.”. Sendo assim, um mecanismo para o reestabelecimento das condições iniciais ou semelhantes a estas, dos corpos de água que recebem afluência de alguma carga poluidora. Um dos processos mais importantes do fenômeno da autodepuração segundo Stehfest (1973) é a decomposição da matéria orgânica por

microrganismos aeróbios. Braga e col. (2002) descreve a autodepuração dividida em zonas: zona de águas limpas, zona da degradação, zona de decomposição ativa e zona de recuperação. Por fim, pode-se descrever que o “conhecimento da capacidade de autodepuração do meio é uma importante informação para caracterização aquática e para análises da saúde do manancial.” (Cunha, 2016, p. 24).

Quando se fala em qualidade da água após um lançamento de efluente, deve-se atentar para o fato de que a água à jusante da descarga possuirá características de ambos os constituintes, corpo de água receptor e efluente descarregado. Portanto, para se fazer a avaliação deverá se detectar as novas características da mistura, principalmente no que tange as concentrações dos parâmetros avaliativos. Segundo Von Sperling (2014) pode-se estimar essas novas concentrações através de uma média ponderada simples como indicado abaixo:

$$C_0 = \frac{(Q_r \times C_r) + (Q_e \times C_e)}{Q_r + Q_e}$$

Sendo:

$C_0$  – concentração do constituinte na mistura (mg/L ou g/m<sup>3</sup>);

$C_r$  – concentração do constituinte no rio, imediatamente a montante do ponto de mistura (mg/L ou g/m<sup>3</sup>);

$C_e$  – concentração do constituinte no esgoto, imediatamente a montante do ponto de mistura (mg/L ou g/m<sup>3</sup>);

$Q_r$  – vazão do rio (L/s ou m<sup>3</sup>/s);

$Q_e$  – vazão do esgoto (L/s ou m<sup>3</sup>/s).

Neste sentido Fan (2013) relata uma classificação quanto à duração dos lançamentos de efluentes. Para despejos com uma duração pequena em relação ao tempo total que se procedeu a análise, pode-se denominar como lançamento *instantâneo*. De outro modo, se a descarga tiver duração não tão pequena, porém que tenha um fim conhecido, ou seja, de maneira finita, denomina-se como despejo *intermitente*. Já para lançamentos que possuem determinação

para início, mas não para fim, nomeia-se lançamento *contínuo*. E por último, para o caso de lançamento sem tempo inicial ou final definido, denomina-se como descarga *permanente*.

Von Sperling (2014) também menciona a importância de se conhecer a razão de diluição, indicada na fórmula abaixo, já que um aspecto muito importante é a condição que o corpo de água tem de diluir a afluência que sobre ele descarrega sendo representada por uma correlação entre sua vazão e a vazão de efluente.

$$\text{Razão de diluição} = \frac{\text{Vazão do rio } Q_r \text{ (m}^3/\text{s)}}{\text{Vazão dos esgotos } Q_e \text{ (m}^3/\text{s)}}$$

Além disso, o autor (Von Sperling, 2014) também cita a importância do conhecimento das concentrações logo após a descarga do efluente, já que nessa seção ocorre a situação crítica da maioria dos parâmetros, a exceção dessa regra temos a concentração de OD, que ocorre em uma seção à jusante da mesma. Cabe ainda ressaltar que o atendimento aos níveis especificados pela legislação deve ser cumprido na seção crítica.

Para os casos específicos de concentração de oxigênio dissolvido e DBO em cursos de água, Von Sperling utiliza as formulações a seguir. Para concentração e déficit de oxigênio no rio após a mistura com o efluente, respectivamente:

$$C_0 = \frac{(Q_r \times OD_r) + (Q_e \times OD_e)}{Q_r + Q_e}$$

$$D_0 = C_s - C_0$$

Sendo:

$C_0$  – concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L);

$D_0$  – déficit inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L);

$C_s$  – concentração de saturação de oxigênio (mg/L);

$Q_r$  – vazão do rio a montante do lançamento dos despejos (m<sup>3</sup>/s);

$Q_e$  – vazão de esgotos (m<sup>3</sup>/s);

$OD_r$  – concentração de oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento dos despejos (mg/L);

$OD_e$  – concentração de oxigênio dissolvido no esgoto (mg/L).

E para a concentração de DBO<sub>5</sub> e da demanda última no rio após a mistura com esgotos, respectivamente:

$$DBO5_o = \frac{(Q_r \times DBO_r) + (Q_e \times DBO_e)}{Q_r + Q_e}$$

Sendo:

$DBO5_o$  – concentração DBO<sub>5</sub>, logo após a mistura (mg/L);

$DBO_r$  – concentração de DBO<sub>5</sub> do rio (mg/L);

$DBO_e$  – concentração de DBO<sub>5</sub> do rio (mg/L);

$Q_r$  – vazão do rio a montante do lançamento dos despejos (m<sup>3</sup>/s);

$Q_e$  – vazão de esgotos (m<sup>3</sup>/s).

$$L_0 = DBO5_o \times K_T = \frac{(Q_r \times DBO_r) + (Q_e \times DBO_e)}{Q_r + Q_e} \times K_T$$

Sendo:

$L_0$  – demanda última de oxigênio logo após a mistura (mg/L);

$K_T$  – constante para transformação da DBO<sub>5</sub> a DBO última;

$DBO5_o$  – concentração DBO<sub>5</sub>, logo após a mistura (mg/L);

$DBO_r$  – concentração de DBO<sub>5</sub> do rio (mg/L);

$DBO_e$  – concentração de DBO<sub>5</sub> do rio (mg/L);

$Q_r$  – vazão do rio a montante do lançamento dos despejos (m<sup>3</sup>/s);

$Q_e$  – vazão de esgotos ( $m^3/s$ ).

Sendo  $K_T$ , determinado pela seguinte equação:

$$K_T = \frac{DBO_u}{DBO_5} = \frac{1}{1 - e^{-5 \times K_1}}$$

Sendo:

$K_T$  – constante para transformação da  $DBO_5$  a  $DBO$  última;

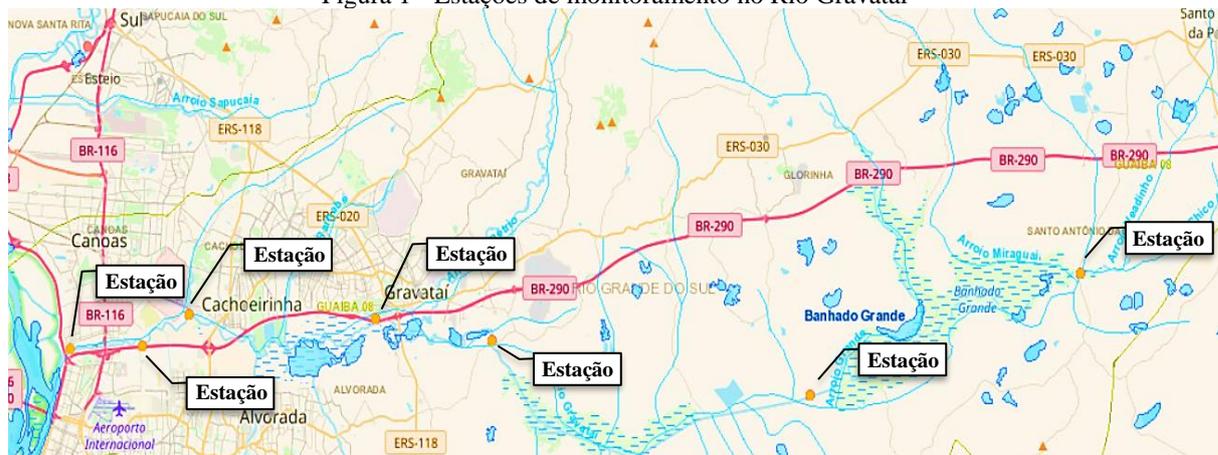
$DBO_u$  – concentração de  $DBO_u$  do rio ( $mg/L$ );

$DBO_5$  – concentração de  $DBO_5$  do rio ( $mg/L$ );

$K_1$  – coeficiente de desoxigenação.

A avaliação desses parâmetros de qualidade de água não é um evento isolado. Os corpos de água que a fornecem para população em seus diversos usos, como o mais prioritário – abastecimento da própria população, devem ser continuamente monitorados para que a água permaneça com a qualidade necessária para determinada finalidade. Assim sendo, a ANA mantém um monitoramento da qualidade dos corpos de água através de um sistema alimentado por dados provenientes dos próprios estados. No Rio Gravataí, objeto de estudo desse trabalho, a situação é esta. Ao longo de seu curso, pode-se observar pelo mapa interativo disponível no site da ANA, cerca de sete estações de monitoramento instaladas a partir de 2013. Na Figura 1 pode-se observar essas estações que estão indicadas próximas ao leito do rio, desde seu trecho nascente até a foz:

Figura 1 - Estações de monitoramento no Rio Gravataí



(fonte: mapa interativo ANA – disponível em

<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=e745db7488f64e1a9a2e4e150e41b08e>; acesso em 01/06/2018)

Finalmente, especificando a situação avaliada por este trabalho, Von Sperling (2014, p. 210) relata que:

[...] para ETEs que, em determina parte do tempo, são forçadas a by-passar esgoto bruto para o corpo receptor, em eventos de chuva ou de falta de energia elétrica. Caso uma pequena fração seja by-passada, a média ponderada da concentração na vazão lançada no corpo d'água (vazão tratada + vazão by-passada) terá valores elevadíssimos [...].

Assim, a avaliação dos parâmetros de qualidade de água na condição exposta acima e assunto principal deste trabalho deve ser analisada com ainda mais detalhamento, já que se mostra como evento crítico no cenário de impacto ambiental representado pela adição de efluentes em um corpo hídrico.

### 3.2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA

O Brasil é reconhecido internacionalmente por possuir uma legislação ambiental complexa, englobando consideráveis parâmetros de proteção ambiental. Embora isso seja um ponto positivo e importante na preservação ambiental do país, na prática não acontece de forma tão palpável, já que a fiscalização das obrigações exigidas por lei acontece de forma pouco eficiente. Porém, pode-se afirmar que desde o estabelecimento das primeiras legislações ao redor desse tema muitos avanços podem ser notados.

Na hierarquização das leis brasileiras, cabe-se ressaltar que prevalece sobre todos os outros estabelecimentos legislativos, a esfera federal, seguida dos estados e municípios, que podem ter legislações mais restritivas, trazendo de forma mais regionalizada as preocupações ambientais, porém, não podem alterar de forma geral o que já está estabelecido nacionalmente. Nesse cenário, encontram-se alguns órgãos de fundamental importância.

No cenário nacional, vinculados ao Ministério do Meio Ambiente, pode-se citar o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – que é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA. O CONAMA produz resoluções que estabelecem normas, parâmetros e critérios relativos a preservação ambiental, sendo o Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - um órgão executor e fiscalizador das normas por ele estabelecidas na esfera nacional. Regionalizando essa situação, no estado do Rio Grande do Sul, a Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMA – é o órgão central no âmbito ambiental e do Sistema Estadual de Proteção Ambiental – SISEPRA. Nesse sistema ainda está inserido o Conselho Estadual de Proteção Ambiental – CONSEMA – órgão deliberativo que possui as funções semelhantes às executadas pelo CONAMA, porém em esfera estadual, também emitindo resoluções que vão ser balizadoras para o controle ambiental no estado, realizado basicamente pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM. Os municípios também têm um papel importante no equacionamento ambiental, sendo que este é conduzido na esfera das cidades geralmente pelas secretarias municipais de meio ambiente e órgãos/departamentos relacionados.

A preocupação com o meio ambiente está estabelecida já na Constituição Federal vigente (1988) que em seu artigo 225º declara:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Além da Constituição, na esfera federal ainda se têm diversas leis que regularizam diferentes assuntos relacionados ao meio ambiente. Pode-se ressaltar entre elas a Lei 9.605 de 1998 que “Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente [...]” (1998, p. 1), também conhecida como lei dos crimes ambientais, que é um importante instrumento de preservação ambiental já que traz para a esfera criminal a pessoa

física ou jurídica que não cumprir com os requisitos ambientais exigidos nas legislações do país. Outra lei de elevada importância é a nº 6.938 que “Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação [...]” (1981, p. 1). Esta lei, além de estabelecer a Política Nacional do Meio Ambiente, constituiu o SISNAMA. Pode-se ainda citar que em seu Artigo 4º ela estabelece que a política por ela estabelecida visará “ao estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais” (1981, p. 2), onde já se pode notar um instrumento de controle sobre padrões e critérios a serem obedecidos.

Além das leis, ainda no âmbito nacional, as resoluções do CONAMA orientam de forma mais específica os parâmetros a serem seguidos. Assim, diversas resoluções orientam a forma de conviver em equilíbrio com o meio ambiente. A Resolução CONAMA nº 1 “Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental” (1986, p. 1) e é um dos pilares das normas sobre o meio ambiente no Brasil. Além dessa resolução e das demais, a Resolução de nº 237 tem relevante importância ao passo que “Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.” (1997, p. 1). Cabe-se ressaltar que as resoluções são modificadas ao longo dos anos por novas resoluções que as alteram ou substituem, por isso deve-se sempre atentar para a utilização da resolução vigente.

Quando se fala em legislação estadual, o Rio Grande do Sul também se destaca por possuir acervo interessante sobre o tema. Dentro desse cenário, se pode citar a Lei nº 10.350 que “Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.” (1994, p. 1). Esta Lei dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos instituindo por exemplo o CONSEMA. Além disso, pode-se citar a importância da *Seção 4* onde a mesma estabelece a criação e normatização dos Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica, um importante instrumento de preservação ambiental que ainda conta com a participação popular para a tomada de decisões.

De forma semelhante às Resoluções no CONAMA, o CONSEMA também publica Resoluções que balizam a conduta frente ao meio ambiente. Entre as várias resoluções, pode-se citar a Resolução CONSEMA nº 129 de 2006 que “Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do

Rio Grande do Sul.” (p. 1), porém esta foi revogada pela Resolução CONSEMA nº 334, considerando que os parâmetros estabelecidos na CONSEMA anterior careciam de revisão, ressalta-se ainda que na ausência dessa normativa estadual em face de sua atualização, devem ainda ser seguida as normas brasileiras.

Além das legislações importantes citadas e que de alguma forma também conversam com esse trabalho, algumas possuem correlação mais próxima e, portanto, serão melhor detalhadas. Primeiramente, vale ressaltar a Lei Federal nº 9.433 de 1997 que “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...]”. Além disso em seu artigo 5º dispõe sobre os instrumentos de sua Política:

São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos: I – os Planos de Recursos Hídricos; II – o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; III – a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; IV – a cobrança pelo uso de recursos hídricos; V – a compensação a municípios; VI – o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Também em sua *Seção II*, a Lei dá diretrizes ao enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água visando “I – assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; II – diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.” (BRASIL; 1997, p. 3). A Lei ainda dispõe sobre os planos de recursos hídricos, outorga de direitos de uso de recursos hídricos, da cobrança pelo uso, das compensações aos municípios, dos comitês de bacia hidrográfica, das agências de água, entre outros assuntos de importância muito grande no gerenciamento ambiental.

Outros dois documentos também muito importantes nesse âmbito e para a continuidade deste trabalho são as Resoluções CONAMA nº 357 e nº 430. A primeira, em seu artigo 1º relata que “Esta Resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.” (2005, p. 1). A Resolução também descreve alguns conceitos importantes, entre eles (2005):

[...] VII – carga poluidora: quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em corpo de água receptor, expressa em unidade de massa por

tempo; [...] XV – corpo receptor: corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente; [...] XX – enquadramento: estabelecimento da meta ou objetivo de água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido [...], de acordo com os usos preponderantes pretendidos [...].

Além disso, a Resolução estabelece a classificação dos corpos de água, primeiramente classificando a água entre água doce, salina ou salobra e dentro dessas classificações subdividindo em mais treze classes, cinco classes de água doce (classe especial e classes 1 à 4); quatro classes de água salina e o mesmo número para águas salobras sendo (classe especial e classes de 1 à 3 para ambas). Após apresentar o uso que cada classe pode atender, a Resolução estabelece uma lista considerável de parâmetros que a água deve satisfazer para ser enquadrada em determinada classe. Desses parâmetros pode-se citar a DBO, o OD, parâmetros inorgânicos como o Fósforo Total e o Nitrogênio amoniacal total, além de parâmetros orgânicos. Cabe ainda ressaltar que a norma estabelece maiores restrições para corpos de água onde haja pesca ou cultivo de organismos para fim de consumo intensivo (BRASIL, 2005).

A referida Resolução estabelecia ainda, a partir de seu artigo 24º as condições de lançamentos de efluentes, porém essa parte foi revogada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430. Um dos aspectos importantes de ser ressaltado nesta Resolução é que “O enquadramento do corpo hídrico será definido pelos usos preponderantes mais restritivos.” (2005, p. 26).

A Resolução CONAMA nº 430 de 2011, como já relatado, complementa e altera a Resolução m 357/2005 dispondo “sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos de água receptores [...]” (2011, p. 1). Em seu Artigo 5º afirma que “os efluentes não poderão conferir ao corpo de receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.” (2011, p. 2). Além disso também dispõe sobre diretrizes importantes, vedando por exemplo o lançamento dos Poluentes Orgânicos Poluentes e também o lançamento de qualquer efluente nas águas de classe especial (BRASIL, 2011).

Em seu Artigo 16º a Resolução estabelece valores quantitativos para os padrões de lançamento de efluentes, como, por exemplo, a DBO, temperatura, pH e diversos parâmetros inorgânicos; e em seus Artigos 21º, 22º e 23º dispõe mais especificamente sobre os padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (BRASIL, 2011). Cabe ressaltar, por fim, que

a Resolução demanda que “os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o auto monitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, com base em amostragem representativa dos mesmos.” (2011, p. 7).

Por fim, uma Resolução que merece devido detalhamento neste trabalho é a CONSEMA 355/2017 que resolve “Art. 1º - Fixar os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes superficiais em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.” (2017, p. 1). A Resolução também descreve alguns conceitos importantes para a continuidade, entre eles (2017):

[...] XVI – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>): quantidade de oxigênio consumida, em 5 (cinco) dias a 20°C, na oxidação biológica da matéria orgânica; XVII – Demanda Química de Oxigênio (DQO): quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria oxidável através de um agente químico; [...] XXII – Escherichia coli: bactéria do grupo coliforme [...], sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos; [...]

Esta resolução atenta para o fato de que o lançamento de efluentes também deve levar em conta as condições preexistentes do corpo receptor de água, para isso estipula a seguinte inequação que deve ser cumprida (RIO GRANDE DO SUL, 2017, p.4):

$$\frac{Q_{chr}}{Q_e} \geq \frac{\text{Padrão de emissão}}{\text{Concentração na classe}}$$

Sendo:

$Q_{chr}$  – vazão de referência do corpo hídrico;

$Q_e$  – vazão do efluente.

Em seu Artigo 10º ela dispõe que “Os efluentes líquidos de fontes poluidoras somente podem ser lançados em corpos d’água superficiais, direta ou indiretamente, atendendo aos seguintes padrões de emissão:” trazendo a seguinte tabela (Figura 2) que estabelece diversos parâmetros de compostos presentes geralmente nos efluentes (RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 5):

Figura 2 - Parâmetros de emissão de efluentes

Parâmetros	Padrão de emissão
Alumínio Total	10 mg/L
*Arsênio total	0,1 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L
*Cádmio total	0,1 mg/L
*Cianeto total	0,2 mg/L
Cobalto total	0,5 mg/L
*Cobre total	0,5 mg/L
Cor	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor
*Cromo hexavalente	0,1 mg/L
*Cromo total	0,5 mg/L
*Chumbo total	0,2 mg/L
Espumas	Virtualmente ausentes
Estanho total	4,0 mg/L
Fenóis total (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,1 mg/L
Ferro Total	10 mg/L
Fluoreto	10 mg/L
Lítio total	10 mg/L
Manganês total	1,0 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausentes
*Mercúrio total	0,01 mg/L
Molibdênio total	0,5 mg/L
Níquel total	1,0 mg/L
Odor	Livre de odor desagradável
Óleos e Graxas: mineral	≤ 10 mg/L
Óleos e graxas: vegetal ou animal	≤ 30 mg/L
pH	Entre 6,0 e 9,0
Prata total	0,1 mg/l
*Selênio total	0,05 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	≤ 1,0 mL/L em teste de 1 (uma) hora em Cone Imhoff
Substâncias tenso-ativas que reagem ao azul de metileno	2,0 mg MBAS/L
Sulfeto	0,2 mg/L
Temperatura	40°C
Vanádio total	1,0 mg/L
Zinco total	2,0 mg/L

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 5)

Em seu Artigo 12º a Resolução também estabelece alguns poluentes orgânicos persistentes que não podem ser lançados com efluentes em corpos de água superficiais, sendo de origem de manipulação ou descontaminação de passivos ambientais (2017, p. 6). A tabela (Figura 3) indica esses poluentes:

Figura 3 - Poluentes Orgânicos Permanentes vedados

Aldrin
Bifenilas Policloradas (PCBs)
Clordano (cis + trans)
DDT (4,4'DDT+4,4'DDE+4,4'DDD)
Dieldrin
Endrin
Heptacloro e Heptacloro epóxido
Hexaclorobenzeno
Mirex (Dodecacloro Pentaciclodecano)
Toxafeno

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 6)

A Resolução nº 355 dispõe também que (2017, p. 6):

Art. 17 - Ficam estabelecidos os seguintes padrões de emissão em função da vazão:

I – Para efluentes líquidos de fontes poluidoras, exceto efluentes líquidos sanitários, os parâmetros DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal e Coliformes Termotolerantes devem atender aos valores de concentração estabelecidos ou a eficiência mínima fixada, conforme as faixas de vazão abaixo referidas:

Figura 4 - Faixas de vazão do efluente e seus respectivos valores de concentração dos parâmetros relacionados

Faixa de vazão do efluente (m <sup>3</sup> /d)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Fósforo Total		Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Coliformes Termotolerantes	
				mg/L	Eficiência		NMP/100mL	Eficiência
(1) Q < 100	120	330	140	4	75%	20	10 <sup>5</sup>	95%
(2) 100 ≤ Q < 500	110	330	125	3	75%	20	10 <sup>4</sup>	95%
(3) 500 ≤ Q < 1.000	80	300	100	3	75%	20	10 <sup>4</sup>	95%
(4) 1.000 ≤ Q < 3.000	70	260	80	2	75%	20	10 <sup>4</sup>	95%
(5) 3.000 ≤ Q < 7.000	60	200	70	2	75%	20	10 <sup>4</sup>	95%
(6) 7.000 ≤ Q < 10.000	50	180	60	2	75%	20	10 <sup>4</sup>	95%
(7) 10.000 ≤ Q	40	150	50	1	75%	20	10 <sup>3</sup>	99%

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 6)

E ainda “II – Para efluentes líquidos sanitários, os parâmetros DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos Suspensos Totais (SST) e Coliformes Termotolerantes devem atender aos valores de concentração estabelecidos ou a eficiência mínima fixada, conforme as faixas de vazão abaixo referidas:” (Figura 5) (2017, p. 6 e 7):

Figura 5 - Faixas de vazão do efluente líquido sanitário e seus respectivos valores de concentração dos parâmetros relacionados

Faixa de vazão do efluente (m³/d)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes Termotolerantes	
				NMP/ 100 mL	Eficiência
(1) Q < 200	120	330	140	-	-
(2) 200 ≤ Q < 500	100	300	100	10 <sup>6</sup>	90%
(3) 500 ≤ Q < 1.000	80	260	80	10 <sup>5</sup>	95%
(4) 1.000 ≤ Q < 2.000	70	200	70	10 <sup>5</sup>	95%
(5) 2.000 ≤ Q < 10.000	60	180	60	10 <sup>4</sup>	95%
(6) 10.000 ≤ Q	40	150	50	10 <sup>3</sup>	95%

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 7)

Finalmente, em corpos com floração de cianobactérias, o órgão ambiental poderá exigir parâmetros de fósforo e nitrogênio amoniacal estabelecidos conforme as faixas de vazão referidas (Figura 6) (RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 7):

Figura 6 - Faixas de vazão do efluente e seus respectivos valores de concentração de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo

Faixa de vazão do efluente (m³/d)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo Total	
		mg/L	Eficiência
(1) Q < 1.000	20	4	75%
(2) 1.000 ≤ Q < 2.000	20	3	75%
(3) 2.000 ≤ Q < 10.000	20	2	75%
(4) 10.000 ≤ Q	20	1	75%

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2017, p. 7)

Assim, com a diversa gama de legislações acerca do tema da qualidade de água, tem-se muitos parâmetros para que esta qualidade seja avaliada de modo complexo e completo na análise dos impactos das diversas poluições feitas pelo homem.

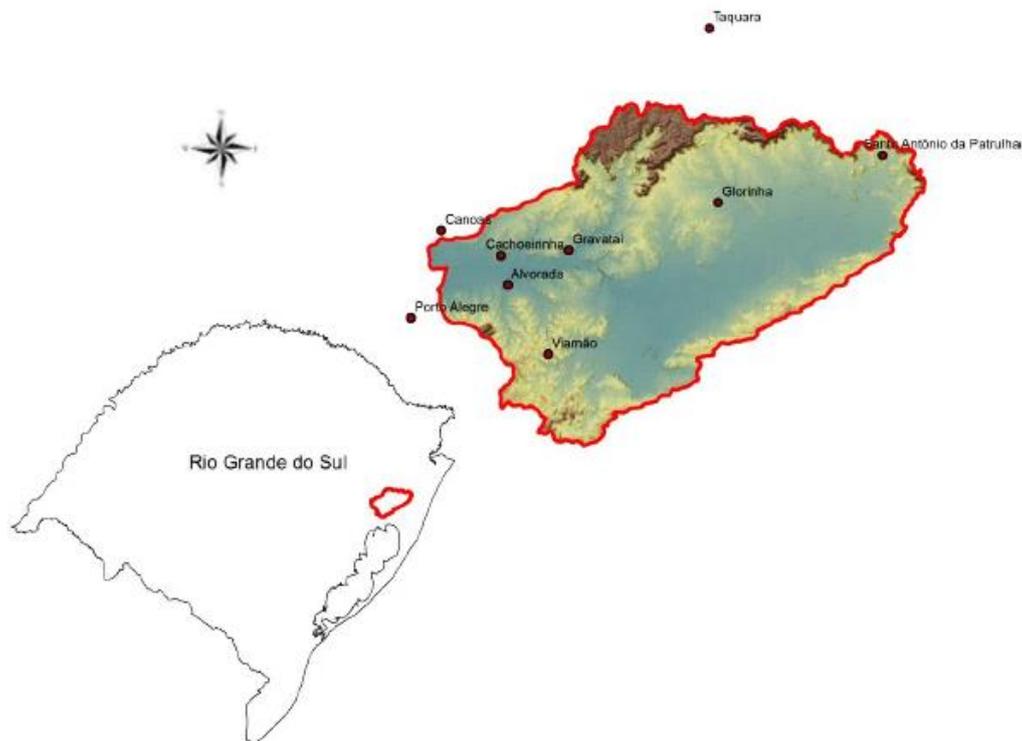
### 3.3. BACIA DO RIO GRAVATAÍ E SUA QUALIDADE DA ÁGUA

O corpo de água analisado neste trabalho, o Rio Gravataí, possui grande relevância no cenário hidrográfico do estado do Rio Grande do Sul. Muitos trabalhos baseados nesse corpo de água foram e são realizados continuamente, porém alguns tópicos ainda carecem de maiores estudos. Neste capítulo serão abordados aspectos gerais da bacia hidrográfica do rio analisado, bem como alguns pontos já analisados por outros trabalhos.

Segundo Salomoni (2004) as vertentes da bacia hidrográfica do rio Gravataí se localizam em terrenos íngremes que fazem limite com a bacia do rio dos Sinos, em um divisor de água de até 400 metros, onde capta a água das precipitações e descarrega no rio Gravataí. Segundo a mesma autora, juntamente com as demais sub-bacias: Alto Jacuí, Taquari-Antas, Pardo Baixo Jacuí, Vacacaí, Vacacaí-Mirim, Caí, Sinos e Guaíba, formam a região hidrográfica do lado Guaíba ocupando cerca de 30% da área total do estado. Esta região é a mais importante do Rio Grande do Sul, possuindo uma área de mais de oitenta mil quilômetros quadrados e ainda sendo a mais densamente habitada do estado, contando com a maior parte da atividade industrial e econômica em geral. O chamado delta do Jacuí, que possui uma área de mais de quarenta e sete quilômetros quadrados recebe contribuições do rio Caí, Sinos, Gravataí, bem como do Jacuí, possuindo assim uma vazão média de 38.000 m<sup>3</sup>/s (Atlas Ambiental de Porto Alegre, 1998). Segundo o Plano de Bacia do Rio Gravataí (2012), o Delta do Jacuí constitui-se em umas das áreas naturais de maior expressão na região metropolitana da Capital gaúcha.

Também segundo o Plano da Bacia do Rio Gravataí (2012), que fez uma avaliação aprofundada sobre a bacia em questão, indica-se que a mesma ocupa cerca de 2,4% da área total do estado, contendo aproximadamente 2.020 km<sup>2</sup> de área. Os limites da bacia citados são, a leste e sul a Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas, no lado norte, a Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos e ainda a oeste, a Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. Estando cerca da capital do Estado, abrange – parcialmente – os municípios de Canoas, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Gravataí, Glorinha, Taquara, Santo Antônio da Patrulha e ainda Porto Alegre, como indicado na Figura 7; sendo parte da região metropolitana mais importante do Rio Grande do Sul. Levando-se em conta as populações urbanas e rurais, uma estimativa de habitantes que residem na bacia é de cerca de 1.255.730.

Figura 7 - Delimitação da área da bacia hidrográfica do Rio Gravataí, com indicação das sedes municipais (sem escala)



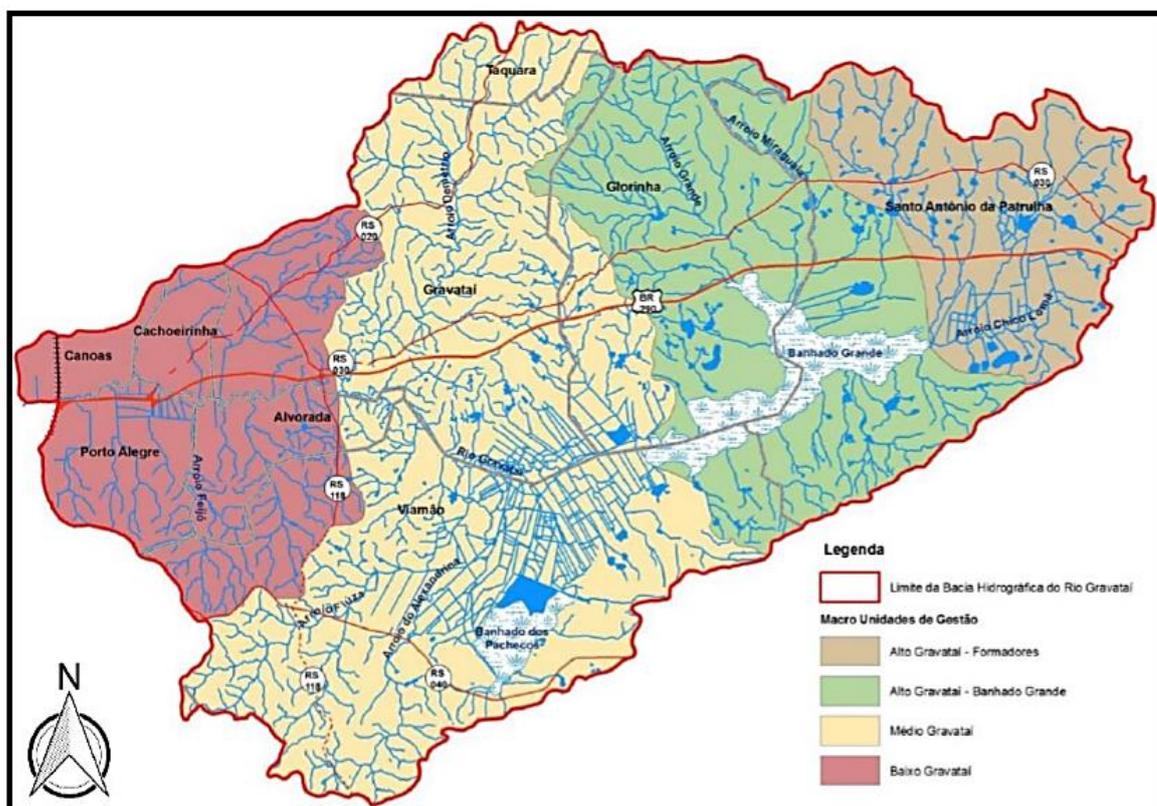
(fonte: Bourscheid, 2011)

A bacia está dividida em duas áreas bem distintas (Guasselli et al, 2018) em termos de ocupação. A primeira muito ligada às lavouras de arroz principalmente no curso superior e médio do rio, correspondentes às regiões do Banhado Grande e Banhado dos Pachecos, sendo assim predominantemente agropecuária, já a segunda, possuindo uso mais urbano e industrial, concentrando alta densidade populacional no trecho inferior do rio.

Segundo o Plano de Bacia, argissolo, gleissolo, neossolo, chernossolo e planossolo constituem a bacia que se encontra sobre a borda nordeste do Escudo Sul Rio Grandense, situada entre a Planície Costeira, a Depressão Periférica e o Planalto Meridional. Outro aspecto importante sobre as características geomorfológicas da região, segundo Guasseli et al (2018), é que as áreas úmidas acabam funcionando como áreas de acumulação de água, causadas principalmente pelas baixas cotas altimétricas encontradas em alguns locais, essa configuração acaba contribuindo para que as áreas de banhado possuam uma umidade bastante elevada e ainda resultam em dificuldades de escoamento superficial.

Para a elaboração do Plano de Bacia (2012), a BHRG foi dividida em sub-bacias (que também foram denominadas como Unidades de Gestão) de menor dimensão, formando uma matriz espacial. Assim, a macro divisão proposta, seccionou a bacia em quatro partes: Alto Gravataí – Formadores; Alto Gravataí – Banhado Grande; Médio Gravataí e por fim Baixo Gravataí, como indicado na Figura 8. Ainda, depois da macro divisão, as sub-bacias foram ainda subdivididas de acordo com regiões geográficas, onde se levou em conta ainda a malha hidrográfica e as margens correspondentes com os afluentes do rio Gravataí. Assim, a sub-bacia Alto Gravataí – Formadores possui uma unidade de gestão que corresponde aos Arroios Chico Lomã, Veadinho e Palmeira. Já a sub-bacia Alto Gravataí – Banhado Grande, foi dividida em três unidades de gestão: Banhado Grande; Sangas da Rapadura e do Freitas e Arroios Grande e Miraguaia. O chamado Médio Gravataí, comporta duas unidades de gestão, a dos Arroios Fiúza, Alexandrina e Banhado dos Pachecos e a unidade dos Arroios Demétrio e Pinto. Por fim, o Baixo Gravataí foi ainda dividido entre Margem Direita – correspondente às regiões de Cachoeirinha e Canoas, e Margem Esquerda que corresponde às áreas de Alvorada e Porto Alegre.

Figura 8 - Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (sem escala)



(fonte: DRH/SEMA, 2012)

Ao se fazer uma análise sobre a cobertura dos solos na bacia do rio Gravataí, o Plano de Bacia (2012) descreve a ocupação da seguinte forma: campo - como sendo o uso predominante do solo, com cerca de 50,81% da área utilizada, seguido de lavoura e mata, com respectivamente 19,98% e 11,12%; logo após, de parte urbana, representada por cerca de 7,65%; ainda com área de banhado por cerca de 3,96%; de água com 2,04%; campo úmido com 1,06% e por fim por solo descoberto e reflorestamento com cerca de 2,43% e 0,89% respectivamente da área. Seguindo às divisões em macrorregiões determinadas pelo mesmo Plano, no trecho do Baixo Gravataí tem-se maior concentração das áreas urbanas, lavouras e campo úmido, já no trecho do Médio Gravataí, pode-se notar predomínio de lavouras, matas, campo e banhado, diminuindo portanto a concentração urbana; no Alto Gravataí – Banhado Grande, o predomínio é da área própria do Banhado Grande, bem como de campos e lavouras, e por fim, na região do Alto Gravataí – Formadores, tem-se maior ocorrência de lavouras e campos.

Quando se fala em termos fitogeográficos a bacia localiza-se em parte no bioma da Mata Atlântica – cerca de um quarto da área total da bacia, principalmente na região de encosta do Planalto) e em sua maior parte no bioma Pampa – os demais 75% da área total. Nesse âmbito ainda, pode-se caracterizar a vegetação natural pela presença de Floresta Estacional Semidecidual, ressaltando-se a presença de áreas de tensão ecológica (Rio Grande do Sul, 2012).

Seguindo ainda no cenário dos usos, Guasselli et al (2018) classifica os usos predominantes das águas na bacia. Sendo considerado que a maior parte é destinada para a irrigação das lavouras de arroz, importante fonte de renda de muitos moradores da bacia, com a captação de água realizada no entorno do Banhado Grande e no canal do DNOS. Outro uso bastante importante se trata do abastecimento público, o qual recebe a água proveniente do curso inferior do rio que também serve como corpo receptor de grande carga de despejos industriais e domésticos, sendo que aqui já se pode identificar dois usos que vão de encontro um com o outro.

De acordo com Cruz da Silva (2016) os principais afluentes do rio Gravataí são os Arroios: Feijó, Vigário, Veadinho, Três Figueiras e Chico Lomã. E as principais sub-bacias são a do Arroio Demétrio e Arroio Vigário (SOP/RS, 1970).

O Plano de Bacia (2012) mapeou as unidades de conservação da Bacia, encontrando assim, algumas áreas de preservação ambiental controlada. Em Cachoeirinha, localiza-se o Parque

Natural Municipal Dr. Tancredo Neves; em Viamão, o Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos; em Porto Alegre e Canoas, a APA – área de proteção ambiental – Delta do Jacuí; em Glorinha, Gravataí, Viamão, Santo Antônio da Patrulha, a APA do Banhado Grande; e finalmente em Viamão, as RPPNs (Reservas Particulares do Patrimônio Natural) Farroupilha; Reserva Particular Prof. Delmar Harry dos Reis e Chácara Sananduva.

Segundo Guasselli et al (2018), a APABG – Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande foi criada em 1998 pelo Decreto Estadual Nº 38.971, com o objetivo de “preservar o conjunto de banhados formadores do rio Gravataí, conhecidos pelos nomes de Banhado Grande, Banhado do Chico Lomã e Banhado dos Pachecos [...]” (p. 129). Os autores ainda afirmam que o Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos foi criado pelo Decreto Nº 41.559 de 2002 do Estado do Rio Grande do Sul com o “objetivo de proteger seus ecossistemas, com exemplares da flora e fauna silvestres das formações remanescentes da Planície Lagunar, principalmente aqueles relacionados aos banhados, a conservação das nascentes do rio Gravataí e a realização de pesquisas [...]” (2012, p. 131).

O clima diagnosticado no Plano de Bacia (2012) pelo sistema Köeppen, caracterizou-se como subtropical, observando-se chuvas em todos os meses. A relativa suavidade da topografia faz com que efeitos orográficos não se tornem muito pronunciados, na Tabela 2 estão indicados os dias de chuvas mensais por sub-bacia. Porém, de acordo com Cruz da Silva (2016), pode-se observar alguns efeitos relativos a topografia a nordeste da bacia hidrográfica nos municípios de Santo Antônio da Patrulha e Maquiné. Considera-se uma precipitação média anual para toda a área da bacia de 1488,6 mm (Rio Grande do Sul, 2012). Segundo Guasselli et al (2018) o ano apresenta cerca de 100 a 120 dias de chuva em média. Já de acordo com Etchelar (2014), a maior concentração de precipitações na bacia hidrográfica está na região dos patamares da serra, também na área mais centro norte da bacia e ainda, principalmente, nas nascentes do arroio Demétrio, um dos afluentes mais importantes do rio Gravataí. Portanto, não está concentrada nas áreas de cabeceira do rio, tampouco na área correspondente ao Banhado Grande. O mês mais chuvoso na bacia é em média agosto, enquanto abril detém as menores médias pluviométricas mensais (Rio Grande do Sul, 2012).

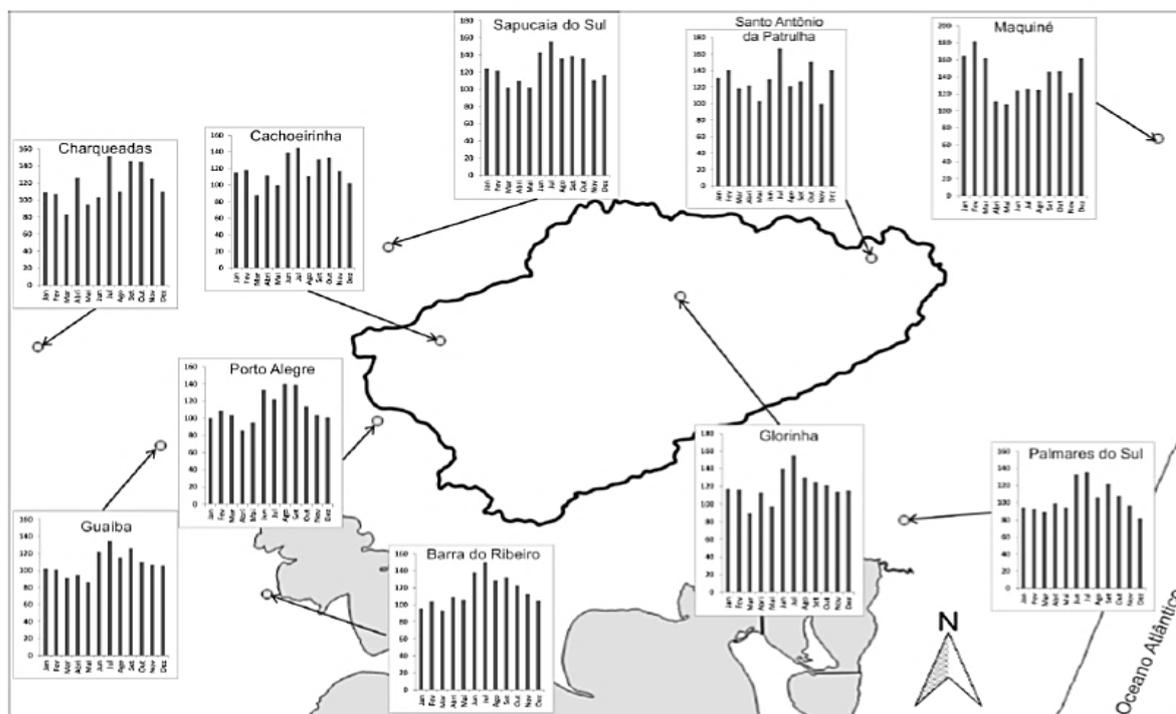
Tabela 2 - Médias mensais de número de dias de chuva por sub-bacia do Rio Gravataí (1961-2004)

Sub-bacia	Média mensal de dias com chuva (1961-2004)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Alto Gravataí	10,45	9,91	10,31	9,23	9,40	10,82	10,80	10,68	11,32	10,59	9,55	9,66
Grande e Miraguaia	9,51	9,24	9,66	8,66	8,66	10,04	10,21	9,82	10,67	10,07	8,90	8,81
Rapadura e do Freitas	10,29	10,18	10,37	9,43	9,24	10,83	10,97	10,65	11,44	10,79	9,62	9,71
Demétrio e do Pinto	9,68	9,51	9,77	8,97	8,64	10,09	10,24	9,89	10,70	10,13	9,02	8,95
Fiúza e Alexandrina	10,37	10,36	10,35	9,57	9,37	11,09	11,08	10,71	11,51	10,95	9,71	9,89
Baixo Gravataí Direita	9,64	9,53	9,65	8,75	8,64	10,28	10,25	10,13	10,84	10,23	9,20	9,08
Baixo Gravataí Esquerda	10,33	10,17	10,25	9,49	9,37	11,37	11,16	10,69	11,43	10,89	9,71	9,91
Banhado Grande	10,12	9,90	10,23	9,25	9,07	10,66	10,82	10,48	11,25	10,58	9,46	9,49

(fonte: Bourscheid, 2011)

De acordo com Silva (2016), pode ser observada uma tendência no sentido sul para uma gama de valores menos extremos de volumes de chuva, porém já na direção norte, estes valores se tornam maiores. O autor ainda cita que “em direção a porção sudeste as chuvas de verão não ultrapassam os 100 mm, enquanto para noroeste as chuvas de verão são superiores a 120 mm” (p. 143). Por fim, pode-se citar ainda Cassol (1993) relatando que de modo geral no Estado se registram índices pluviométricos elevados. O conhecimento do clima da região é muito importante na continuidade deste trabalho, já que os eventos considerados dependem de valores extremos de chuva. A distribuição de chuvas nas diversas regiões da bacia está apresentada na Figura 9:

Figura 9 - Regime das chuvas na região de estudo



(fonte: MATZENAUER et al, 2011; org: Cruz da Silva, 2016)

Com o objetivo de identificar os agentes poluidores da bacia do rio Gravataí, além de propor mudanças para que se reduza os processos de contaminação, o Plano de Bacia avaliou também a qualidade da água no rio Gravataí e em seus principais afluentes. Levando sempre em conta o planejamento da água como um processo global e não apenas específico dos pontos de poluição concentrados. O plano considerou que a alteração da qualidade da água se dá por vários fatores, sendo alguns até mesmo naturais que decorrem dos processos de escoamento superficial e infiltração no solo que de alguma forma, após precipitações de chuva podem carrear impurezas ou substâncias quaisquer para o leito do rio, sendo que nesse caso a cobertura do solo se mostra imprescindível para uma análise mais detalhada dos eventos que podem ocorrer. Ainda assim, a maior preocupação no que tange a qualidade das águas foi para quanto a ação antrópica age sobre a bacia do rio Gravataí. Tanto de forma concentrada, como no descarregamento direto de dejetos domésticos e industriais, como em eventos indiretos, de forma dispersa, na utilização de defensivos agrícolas que de alguma forma podem chegar ao corpo receptor, contribuindo assim, para uma mudança, muitas vezes significativa da qualidade da água. Assim, o plano cita que “a forma como o homem usa e ocupa o solo tem implicação direta na qualidade das águas” (Rio Grande do Sul, 2012, p. 21).

Ainda, para a realização do controle da qualidade de água, o Plano de Bacia (2012) observou que a relevância social, econômica e cultural da bacia fez com que essa aumentasse sua população urbana bem como seu parque industrial nos últimos anos. Com o aumento da irrigação de culturas, dessedentação de animais, lançamentos de efluentes domésticos e industriais, lixo de resíduos sólidos, drenagem urbana, fontes difusas rurais e a precipitação de poluentes atmosféricos, a carga poluidora lançada no leito do rio Gravataí teve um incremento significativo, ainda mais potencializado por vazões baixas e inversões de fluxo decorrentes da influência da variação de nível do lago Guaíba (IPH/CPRM, 2002).

Para a avaliação relatada foram utilizados dados da CORSAN e da FEPAM, que possui dados de uma série histórica de 1992 até 2010, com dados coletados de forma não regular em sete unidades de monitoramento, e ainda com dados de caracterização complementar das águas advindas de quatro dos principais afluentes do rio Gravataí: Arroios Grande, Fiúza, Demétrio e Barnabé. Já os dados obtidos da CORSAN, caracterizam-se por coletas regulares e atualizadas, baseando-se em quatro estações de monitoramento instaladas em pontos de captação de água do rio Gravataí e também de seus afluentes. Com os dados da CORSAN, o plano pôde realizar um estudo mais atualizado e com maior detalhamento das variações sazonais. Ainda sobre o monitoramento realizado pela FEPAM, pode-se dizer que esta entidade avalia o rio Gravataí desde 1980, com apenas algumas interrupções. O monitoramento foi incluído no programa Pró Guaíba em 1998, no qual também possuía participação a CORSAN e o DMAE (Scheren, 2014).

Após as análises, diversas substâncias foram detectadas, além de variações significativas nas concentrações dos principais parâmetros de análise de água, como DBO, OD e *Escherichia coli*.

A seguir serão citados apenas regiões de maior importância, combinadas com algumas amostras que apresentaram maiores problemas na qualidade de suas águas. Assim, quanto a foz do Rio Gravataí, pode-se citar que esta obteve níveis elevados de Coliformes Termotolerantes, DBO, Fósforo Total e Mercúrio, com suas médias anuais alcançando a classe 4 de enquadramento (pior qualidade das classes existentes). Também se constatou baixos níveis de OD, enquadrando o corpo de água na classe 4, na maior parte do tempo medido. E por fim, os níveis de *Escherichia coli* também se mostraram elevados, apresentando assim traços de contaminação fecal (Rio Grande do Sul, 2012). Esses dados já eram esperados, já que na foz, o leito do rio

apresenta as consequências de todos os processos de mudança de qualidade de água que sofreu ao longo de seu leito.

Na análise dos afluentes, como caracterização complementar da qualidade de água da BHRG (2012), os quatro principais contribuintes foram analisados em períodos de inverno e verão e foram classificados os pontos de deságue de cada um deles sendo o Arroio Grande um afluente que deságua em águas de classe especial; o Arroio Fiúza e o Arroio Demétrio, desaguam em águas de classe 1; e, por fim, o Arroio Barnabé, deságua em trecho de classe 2.

Sobre o Arroio Grande pode-se citar a elevada quantidade de Coliformes Totais registrados. Já no Arroio Fiúza também se mostrou elevada as concentrações de Fósforo Total e ainda de Sulfeto e Ferro Dissolvido. No Arroio Demétrio apenas o parâmetro de cor verdadeira foi enquadrado como classe 4, e as maiores concentrações de Coliformes Totais, Fósforo Total e DQO, no período do verão, podem estar associadas a diluição menor de descargas de efluentes domésticos da cidade de Gravataí, que se localizam a montante da coleta para o monitoramento. Finalmente, no Arroio Barnabé, chamou-se atenção os níveis elevados de Fósforo Total e Manganês, além das densidades de Coliformes Totais elevadas, ademais dos outros parâmetros, esta análise inferiu a possibilidade desse afluente estar recebendo uma carga de efluentes domésticos (Rio Grande do Sul, 2012).

Por fim, analisando de maneira geral o Plano de Bacia (2012) inferiu que os elementos Cádmiu, Cloreto, Cromo, Níquel, pH e Sólidos Totais Dissolvidos se mantiveram no enquadramento da classe 1. Já as concentrações de Chumbo que atingiram valores mais elevados antes de 2007, podem estar vinculadas a atividades industriais da região. Também o elemento Cobre possui cargas mais elevadas em um período anterior a 2007, sendo que suas fontes provavelmente são oriundas de indústrias, de esgotos e plantações, já que é um elemento que está presente nos defensivos agrícolas, muito utilizado nos cultivos atuais. Os níveis elevados de Coliformes Termotolerantes e da bactéria *Escherichia coli* estão relacionados ao despejo de efluentes domésticos sem processo de tratamento, provenientes em sua maioria de áreas urbanizadas. Também se pode dizer que os altos valores para concentração de Fósforo Total, estão ligados a presença de matéria orgânica fecal e ainda detergentes em pó empregados nos domicílios em grande escala. Ainda, pode-se citar que as variáveis indicadoras de processos de eutrofização, foram observadas em maior escala nos meses de verão, característica de menor precipitação e conseqüentemente menor diluição.

Souza (2006), analisou a hidrodinâmica da qualidade da água na sub-bacia do Arroio Demétrio pertencente a BHRG. Através dos perfis médios dos parâmetros de qualidade da água simulados através do modelo CE-QUAL-W2 V3.2, apurou-se o enquadramento do Arroio de acordo com a resolução CONAMA nº 357 de 2005, obtendo que o trecho estava em classe 2 e 3, ao longo de seu leito. Já para os níveis de Coliformes Fecais, em seu nível inferior, os resultados obtidos pelo trabalho, mostraram um enquadramento superiores ao da classe quatro, ou seja, totalmente fora dos padrões estabelecidos.

Já Salomoni (2004) em seu trabalho sobre Diatomáceas Epilíticas indicadoras da qualidade de água na bacia do rio Gravataí, informa que (p. 8):

O rio Gravataí tem dois trechos bastante distintos, o superior-médio, oligotrófico e oligomesosapróbico, com águas que podem ser enquadradas nas classes 1 e 2, da resolução CONAMA, nº 20 de 1986 e o trecho inferior, eutrófico, meso-polissapróbico, com águas nas classes 2, 3 e 4. Existe uma descontinuidade no gradiente no curso médio do rio ocasionado pelo despejo de águas residuárias oriundas de Porto Alegre, resultando em incrementos de matéria orgânica lábil, com aumentos de até 3 a 50 vezes de DBO e coliformes fecais, respectivamente.

Cabe ressaltar que muitos trabalhos que versam sobre a qualidade das águas do rio Gravataí, ou de algum corpo da Bacia do Rio Gravataí estão desatualizados pois utilizam normas e resoluções de enquadramento que já não estão mais em vigor atualmente.

A Resolução nº 113 de 2013 da Secretária do Meio do Ambiente do Estado aprovou o enquadramento das águas do rio Gravataí, expressando em termos de classes, a situação atual e as metas intermediárias para 10, 15 e 20 anos como mostrado na Figura 10 a seguir:

Figura 10 - Enquadramento de águas do rio Gravataí

	Situação Atual	Meta 10 anos	Meta 15 anos	Meta 20 anos	Enquadramento
Trecho Alto - Nascentes	2	2	2	2	1
Trecho Alto – Banhado Grande	2	2	1	1	Especial
Trecho Médio: entre o Banhado Grande e a foz do Arroio Demétrio	3	2	2	2	1
Trecho Baixo: entre a foz do Arroio Demétrio e a foz do rio Gravataí	4	4	4	3	2

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2013)

Bitello Wink et al (2014) em seu trabalho de avaliação de elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos do rio Gravataí entre os anos de 2000 e 2013, informa que a bacia hidrográfica do rio Gravataí é uma das regiões fluviais mais propensas à contaminação por elementos com potencial tóxico no Rio Grande do Sul, já que possui polo industrial e significativa atividade urbana. Ainda, como potencializador desse processo, sendo um rio de planície, principalmente em seu inferior, possui uma velocidade baixa de escoamento e é alvo de recebimento de grande carga poluente provinda de despejos domésticos e industriais (FEPAM, 2011). Os resultados obtidos (Wink et al, 2014) indicaram um gradual aumento nas concentrações de Cd, Cu, Hg e Zn nos sedimentos, no sentido de montante à jusante. De acordo com a classificação do IGEO, esse aumento significativo de contaminação por elementos tóxicos é uma consequência dos despejos urbanos provenientes da região metropolitana, principalmente zona norte de Porto Alegre e Cachoeirinha.

O Plano de Bacia do Rio Gravataí (2012) ao analisar grande número de variáveis importantes dessa região, afirma que este rio é a uma fonte importante de desenvolvimento de toda a região, sendo que abastece cerca de 650 mil habitantes. Além disso, fica latente a observação de que as águas de abastecimento que retornam para o rio depois de utilizadas nos domicílios ou indústrias tem suas características originais alteradas. Segundo dados do plano, cerca de 67,5% dos domicílios urbanos é atendido por um sistema de rede geral de esgoto ou pluvial, e ainda, cerca de 21% é atendido por sistema de fossas sépticas. Nos municípios de Glorinha e Santo Antônio da Patrulha, cerca de 60,2% e 57% são atendidos por fossas sépticas. Ainda se apurou que nem todo efluente é tratado antes de ser descartado no corpo receptor. Cinco dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Gravataí possuem algum tipo de sistema coletivo de tratamento de efluentes doméstico, sendo eles: Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Gravataí e Porto Alegre. A CORSAN é a responsável pelos serviços de água e esgoto em Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Gravataí e Viamão. O DMAE é o órgão municipal que faz esses serviços na capital Porto Alegre e em Glorinha, Santo Antônio da Patrulha e Taquara os serviços de saneamento são de responsabilidade municipal.

O Plano de Bacia estabelece o seguinte cálculo (2012, p. 40):

A carga poluidora referente ao esgotamento sanitário e drenagem urbana, considerando uma contribuição per capita de 54 kg DBO/hab.dia, é de 67.809,5 kg DBO/dia, enquanto que a remoção de carga é de 54.247,6 kg DBO/dia, o que representa uma eficiência em remoção de carga orgânica de 80%. Considerando

a população urbana total inserida na bacia de 1.224.971 habitantes, tem-se uma carga gerada para DBO, DBO remanescente, sólidos suspensos e coliformes, respectivamente de, 24.144,7 ton DBO/ano, 9.378,9 ton DBO/ano, 21.908,5 ton SS/ano e 279.446.509.375,0 NMP coliformes/ano.

Por fim, o Plano (2012) ainda salienta que as maiores cargas poluidoras são encontradas nos trechos mais a jusante do rio, nesta região também conhecida como Baixo Gravataí, se encontram Cachoerinha, Canoas, Alvorada e Porto Alegre, e pode-se afirmar que as cargas orgânicas são provenientes de efluentes domésticos urbanos. A dificuldade de enquadramento das águas do rio Gravataí se dá principalmente pelas elevadas taxas de Fósforo e DBO.

Em 2016, Cruz da Silva em seu sobre a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, fala em uma “ausência quase plena de saneamento básico nas moradias situadas nos arredores da planície de inundação do Rio Gravataí” (p.116). Além disso, cita um aumento dos problemas ambientais como poluição das águas, desmatamento, lixões irregulares, nas proximidades de Porto Alegre. E ademais disso, relata como à poluição das águas por efluentes torna-se mais perceptível em direção a foz.

Portofê de Mello, em 1998, já indicava que “os ecossistemas do Banhado Grande têm sido, ao longo do tempo, afetados por diversas ações negativas [...]” (p. 2). Além disso, o autor ainda cita como fatores contribuintes para a degradação da qualidade ambiental da BHRG o desmatamento localizado nas vertentes e ao logo dos rios afluentes, o uso de defensivos agrícolas na agricultura, a urbanização cada vez mais avançada sobre os terrenos de várzea, caça e pesca predatórias e as queimadas. E ainda ressalta que “a influência antrópica é bastante acentuada na bacia do Gravataí, pouco restando da vegetação original da área.” (1998, p. 18).

### **3.4. DESAFIOS A SEREM TRABALHADOS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

São muitos os meios de poluição que ocorrem não só nos corpos de água, mas também em todos os ambientes naturais que com o passar do tempo vão sendo modificados pelo homem. Ferreira da Silva (2014) cita que existe um reflexo entre as atividades exercidas no entorno de ambientes aquáticos e a qualidade da água dos mesmos, bem como também existe ainda efeitos correspondentes nas comunidades que habitam esses ambientes.

Assim, como discorre Fan (2013) em seu trabalho sobre lançamentos de poluentes e qualidade de água, além de enfrentar problemas de falta de água causados pela má distribuição desta, as comunidades ainda precisam conviver com a poluição antrópica causada pelo lançamento de efluentes nos corpos hídricos. Ainda, o autor recorda que os corpos de água são utilizados frequentemente como meio de transporte e diluição de produtos residuais, para lugares mais afastados de onde foram gerados.

Salomoni (2004) também discorre sobre o efeito das atividades dos seres humanos, relatando que estes produzem grande volume de águas contaminadas, contendo, principalmente, grandes concentrações de matéria orgânica que acabam gerando desequilíbrios nos ambientes naturais. Também relata que é necessário fazer avaliações quantitativas e qualitativas dos impactos ambientais para que se possa manter um processo de desenvolvimento sustentável. A autora também reitera que a crescente urbanização e industrialização são causas primordiais do aumento significativo de poluição ambiental. Nesse mesmo cenário de intensa industrialização Souza (2006) ainda cita que as formas principais de poluição antrópica são causadas por fontes difusas da drenagem urbana ou rural ou ainda pelas fontes pontuais como efluentes domésticos e industriais. O mesmo autor ainda ressalta para o fato das descargas oriundas de efluentes domésticos conterem alta concentração de matéria orgânica que ao entrar em contato com os corpos receptores, fazem com que o nível de oxigênio seja diminuído consideravelmente já que é consumido por organismos decompositores. Por fim, esse fato faz com que a quantidade e diversidade de organismos diminua muito, sobrevivendo apenas os mais resistentes.

Nesse sentido também, Schuster (2014) ressalta para o fato de que os efluentes são gerados a partir dos usos diversos de água de qualidade que são demandados cada vez mais na sociedade atual, e retornam aos corpos de água com sua qualidade alterada, com a presença de matéria orgânica e inorgânica, sólidos e microrganismos.

Toda essa situação relatada acontece também na bacia hidrográfica estudada, mostrando como as atividades antrópicas modificam o ambiente natural e trazem efeitos muitas vezes negativos. Nesse trabalho, se abordarão os efeitos do cenário de lançamento de esgotos da ETE Mato Grande, situada em Canoas, diretamente no Rio Gravataí, quando em regimes de chuvas intensas, a câmara de chegada não suporta a vazão entrante; para isso será necessário avaliar as condições de lançamento, bem como se comporta a bacia atualmente e quais são as projeções futuras.

Em seu trabalho onde analisa o valor da água para irrigação na bacia do Rio Gravataí, Stampe (2007) relata que os órgãos que tem poder de atuação na BHRG são o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, o Departamento de Recursos hídricos e, por fim, a FEPAM.

De acordo com Salomoni (2004), pode-se observar alterações de forma gradual no leito do Rio Gravataí, das nascentes, pelo curso médio até a foz – curso inferior. Porém, se pode notar também alterações significativas no trecho médio do rio, já que este recebe carga de poluição elevada, indicando um grau significativo de eutrofização. Assim, ratifica-se para o fato que o ponto crítico para a maioria dos parâmetros lançados no rio é no ponto de mistura. A autora ainda relata que se pode notar que as características da bacia variam sazonalmente, correspondendo as variações climáticas a que estão expostas durante o ano. E por fim ainda afirma que “existem evidências que na última década tem ocorrido uma marcante alteração na qualidade da água do rio Gravataí, em virtude da contaminação por águas residuárias domésticas e industriais.” (Salomoni, 2004, p. 75). Salomoni (2004) ainda afirma que a capacidade de diluição do rio é pequena, sendo que a carga de poluição que é descarregada em seu leito acaba excedendo a sua capacidade de autodepuração.

Em seu estudo sobre a dinâmica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Gravataí (2016), Cruz da Silva classifica a bacia em cinco categorias de fragilidade ambiental, sendo 0,07% da área em classe de fragilidade muito forte; 19,8% em classe forte; 64,4% - a maioria, em classe moderada e, por fim, 11,1% e 4,4% em classe fraca e muito fraca, respectivamente. Sendo assim, uma bacia que reage de forma dialética aos impactos causados pelo homem, ou seja, em um processo dinâmico de troca de energia e matéria com o ambiente em seu entorno. Essa interação com o meio antrópico, torna mais complexa a paisagem ambiental. Os impactos ambientais causados pelo homem e citados pelo autor como associados ao ambiente de degradação ambiental da bacia são: erosão dos solos, assoreamento dos cursos de água, desmatamento da vegetação natural, ocupação de encostas, poluição das águas, inserção de espécies vegetais exóticas e rejeitos de extração mineral. Pode-se ver a bacia como uma consequência do manejo antrópico que causa degradação das terras da bacia hidrográfica, principalmente por estar inserida no bioma Pampa, que vem sofrendo historicamente antropização em seus ecossistemas naturais. Entretanto, Cruz da Silva (2016) informa que a

BHRG tem condições de continuar seu desenvolvimento econômico sem comprometer os recursos naturais e sem que haja ainda mais degradação no ambiente dos seus recursos naturais.

Salomoni (2004) é enfática ao afirmar que os despejos contendo significativa carga de resíduos lançados diretamente no leito do Rio Gravataí, são consequências da alta densidade populacional e concentração de indústrias, acarretando que a qualidade de água seja alterada bruscamente. A autora, seguindo as classificações propostas pelos parâmetros físicos e químicos, classifica o trecho inferior do rio, mais próximo de sua foz, como eutrófico, em condições polissapróbicas e principalmente com baixa qualidade no que diz respeito aos aspectos sanitários.

No que tange a urbanização da bacia, Salomoni (2004) ainda cita que mesmo as porções de entorno do curso superior do rio foram afetadas de forma pronunciada como consequência das atividades agrícolas, tornando assim, essa bacia com características próprias, diferentes das usualmente encontradas em outras bacias, no cenário de suas vertentes. Nesse sentido, Scheren (2014) em seu trabalho sobre os processos de urbanização na bacia do rio Gravataí ratifica o fato que a urbanização rápida dos últimos anos tanto no Brasil, quanto no mundo, tem se constituído como um dos principais fatores de impactos ambientais que podem ser notados nos ciclos hidrológicos, de forma direta ou indireta. Dessa forma, o autor ainda afirma que a crescente urbanização causa incremento nos processos de impermeabilização do solo, que traz severas consequências, modificando a drenagem urbana e consequentemente o destino das águas de escoamento. Segundo Scheren (2014) ainda, a expansão urbana da Bacia do Rio Gravataí demanda estudos de sua relação com as cidades de entorno.

Nesse cenário de análise da qualidade de água, Souza (2006) atenta para o fato que nos últimos anos, várias tecnologias e avanços científicos tem surgindo de modo a auxiliar à engenharia sanitária. Assim, relata que a crescente interconexão entre as disciplinas amplia a gama de conhecimentos dos vários processos que acontecem nos corpos de água, que podem ser físicos, químicos e biológicos. Logo, o desenvolvimento de tecnologias que visam melhorar o tratamento de esgotos vem sendo apurado, para que em um futuro próximo se possa ter um lançamento de efluentes com menor impacto no corpo receptor. E para aglutinar todos os conhecimentos teóricos interdisciplinares com a avançada gama de recursos tecnológicos atuais, o autor ainda aponta para os modelos matemáticos que buscam a compreensão mais específica dos processos que acontecem no corpo de água. Nesse sentido, por envolverem baixo

valor de custo agregado, os modelos matemáticos vêm sendo amplamente empregados em todo o mundo, visando uma gestão mais otimizada dos recursos hídricos disponíveis. Além disso, se pode ainda salientar que os modelos apresentam grau satisfatório de flexibilidade e bons níveis de resultados apresentados.

Um exemplo do uso de modelos matemáticos está no próprio trabalho de Souza (2006) de simulação hidrodinâmica da qualidade da água aplicada à sub-bacia do Arroio Demétrio localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, através do modelo CE-QUAL-W2, que após analisar a qualidade de água, projeta para a próxima década, uma deterioração da qualidade da água, principalmente na direção da área urbana de Gravataí.

Quando se fala em projeções futuras, Portofé de Mello (1998) afirma que é necessário analisar os diferentes níveis de interferência humana no meio, pois para cada nível de interferência está relacionado um grau de proteção do ecossistema. Mais ainda, explica que para a manutenção das condições naturais, é necessário que o meio não seja alterado ainda mais pelos humanos, já em termos de conservação se prevê a interferência antrópica, mas que esta seja de maneira que os dois ambientes possam coexistir de maneira sustentável.

Analisados os pontos de poluição das águas de maneira geral e de maneira mais específica na bacia do rio Gravataí, fica latente que mesmo já contando com diversos estudos de variadas disciplinas, esta região de importância elevada no cenário estadual merece uma continuidade nos trabalhos que visem quantificar e qualificar os impactos que vem ocorrendo ao longo dos anos. Assim, Souza (2006) fala em falta de estudos anteriores mais aprofundados sobre as projeções de cargas poluidoras para os próximos anos na bacia do Arroio Demétrio, como já relatado, importante afluente do Rio Gravataí. Scheren (2014) também expõe sobre a falta de trabalhos desenvolvidos fora das unidades de conservação e também ao longo do curso do próprio rio Gravataí.

Por fim, ainda nesse sentido Cruz da Silva (2016, p. 11) aborda que:

A Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí representa um dos principais mananciais hídricos da região metropolitana do Rio Grande do Sul. Por isso, se justifica os estudos ambientais com a finalidade de elaborar diagnósticos do meio [...].

E ainda afirma sobre a carência de estudos ambientais na BHRG, que possam ser ferramentas no planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos.

### **3.5. VISÃO GERAL DE MODELOS DE QUALIDADE DE ÁGUA**

Os modelos de qualidade da água são representações matemáticas das interações que ocorrem nos corpos de água receptores e os seus respectivos poluentes, assim, a referida modelagem se torna uma ferramenta muito importante no auxílio da simulação de processos que acontecem nos corpos de água, como o transporte de efluentes e a autodepuração do corpo de água (Fan, 2013).

Segundo Fleck et al (2013), em 1925 nos Estados Unidos, foi criado o primeiro modelo de qualidade de água por Streeter e Phelps. Este modelo matemático pioneiro objetivava analisar o comportamento de oxigênio dissolvido, em um corpo de água que recebia uma carga poluidora de efluentes. Ainda segundo o autor, as primeiras discussões em torno desse tema surgiram devido as preocupações de questão sanitária e de saúde pública, já que desde o início do século passado, já era clara a correspondência entre a saúde da população e um saneamento de qualidade.

De acordo com Oppa (2007), desde então vem sendo criadas novas ferramentas que buscam melhorar e aprimorar os modelos de qualidade de água, de acordo com diferentes situações em que necessitam ser aplicados. Reis (2009) afirma ainda que o ano de 1976 foi primordial nesse âmbito, já que nesse período foram apresentados vários modelos, que até hoje são muito utilizados como QUAL-SEMOG, CE-QUAL-W2, QUAL2E, HSPF e MIKE11. O autor ainda cita que foi no final desta década que os responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos passaram a reconhecer melhor a ameaça que representava o lançamento de poluentes nos corpos de água, contendo muitas vezes, contribuições tóxicas que poderiam afetar de forma severa toda a população – sendo que assim, os modelos que surgiram tinham como foco o transporte de micro poluentes tóxicos e também as transformações que ocorrem nesse processo.

Segundo Fan (2013) a aplicabilidade de cada modelo depende do uso em que se deseja desenvolver as análises, ainda é dependente das informações necessárias de entrada do modelo e por fim, da capacidade inerente do programa de simular determinadas situações frente a uma certa gama de incertezas. Butts et al (2004) descreve: os parâmetros utilizados pelo modelo, os dados de entrada que serão utilizados pelas equações do mesmo e os dados que são necessários

para o processo de calibração e estruturação do modelo como as principais fontes de incerteza que permeiam este processo.

De acordo com Pereira (2004), os modelos de qualidade de água têm o propósito de:

- Explicar as causas e as consequências dos processos que acontecem no ambiente e seu entorno;
- Diferenciar as formas de poluição, entre as fontes antropogênicas e as fontes naturais de inserção de poluentes;
- Analisar os programas de gerenciamento ambiental quanto a sua eficiência;
- Após a implementação de um programa ambiental que busque reduzir a inserção de contaminantes, determinar o tempo que se levaria de recuperação;
- E ainda, ser uma ferramenta de auxílio no desenvolvimento de programas e projetos de amostragem de campo.

Atualmente, na literatura, é possível encontrar muitos estudos que versam sobre as aplicabilidades da modelagem matemática como auxílio básico no processo de determinação da qualidade de corpos de água, como rios, lagos e ainda reservatórios (Fleck et al, 2013).

De acordo com Fan (2013), com a aplicação dos modelos de qualidade de água é possível que se façam previsões sobre possíveis cenários e suas respectivas avaliações, além de poder manter um controle das alterações que constantemente acontecem na qualidade das águas, em consequência das diversas fontes poluidoras que existem. Ainda pode-se citar como resultados da aplicação dos modelos: a gestão e licenciamento sobre o uso da água, bem como a possibilidade de avaliações de riscos e a tomada de decisões importantes no cenário ambiental, para a proteção de ambientes como leitos de rios, ainda mais em lugares de captação de água, para abastecimento humano, por exemplo. O autor ainda relata um modelo matemático de qualidade como sendo uma simplificação da realidade de um corpo hídrico, simulando assim suas características e prevendo seu comportamento frente aos acontecimentos que poderão vir a ocorrer, como o lançamento de efluentes. Molinas e Souza Filho (2011), ratificam essa informação ao passo que relatam que para se obter soluções possíveis da aplicação dos modelos matemáticos é necessário a simplificação do sistema em que estão inseridos. E ainda afirmam que o grau de simplificação que cada modelo disponibiliza, afeta posteriormente sua aplicabilidade, restringindo seu uso em certas ocasiões, eventos ou ambientes.

A modelagem matemática na análise de qualidade de água pode ser um dispositivo importante para a eficiente implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH, ao passo que pode verificar se os objetivos pretendidos pela política estão sendo alcançados e ainda a que condições estes objetivos estão sendo buscados, além de ser um balizamento para que as medidas que são tomadas sejam as mais adequadas e em consonância com o que foi proposto (Larentis, 2004).

Souza (2006) descreve a modelagem como um exercício que se caracteriza por ter um conjunto de equações que simplificadamente abordam e descrevem os processos que ocorrem dentro de um sistema, sendo assim denominados de modelos matemáticos. Para que as aplicações sejam bem-sucedidas devem ser realizados procedimentos de ajuste, calibração e sintonização com os ecossistemas que desejam representar, em relação a seus parâmetros hidráulicos, químicos, biológicos e físicos. Este processo inicial de calibração do modelo ao ambiente em que vai ser aplicado é dependente de um conjunto de dados iniciais e pode ser realizado de forma manual ou automatizada. A partir desses conceitos iniciais, são várias as direções que os modelos seguem para avaliar os parâmetros a que se propuseram.

De acordo com Somlyódy et al (1998) apud Pereira (2004) no desenvolvimento e utilização dos modelos matemáticos de avaliação da qualidade de água, as principais dificuldades que são encontradas, justamente têm início na formulação do problema, sua calibração, validação, disponibilidade dos dados e capacidade de previsão de eventos futuros.

Reis (2009) propõe uma série de características de modelos que devem ser levadas em conta na seleção de um que seja mais adequado para a situação a ser analisada. Essas características são referentes ao corpo de água, às escalas temporais e espaciais, e por fim, aos processos físicos que estão disponíveis.

De acordo com o corpo de água, os modelos podem ser mais específicos para diferentes tipos de corpo receptor: de lagos e reservatórios; rios e canais; e ainda, estuários e sistemas costeiros. Estes sistemas diferem quanto às suas características, como dimensões, tempos de diluição e ainda processos variados, como por exemplo, a ação de ventos.

Quanto às escalas espaciais, os modelos diferem quanto ao tamanho de escalas que podem suportar. Ressaltando-se que os modelos de maior escala, podem conferir uma visão mais geral do problema. Além disso, a escala espacial, deve-se atentar para o fato das considerações nas

diversas direções, transversais e longitudinais, dando aos modelos, diferentes dimensionalidades. Quanto à escala temporal, podem-se classificar os modelos entre permanentes ou não. Dentre os de regime permanente, ainda se pode subdividir entre os uniformes e os não uniformes, que variam de acordo com a consideração de velocidades variáveis ou não. Ainda na escala temporal, algumas condições de fluxo, radiação e temperatura podem fazer que os modelos difiram entre si.

Os processos físicos que cada modelo representa, também são razões de diferenciação entre os mesmos. Algumas características que podem ser levadas em conta ou não, ou ainda ser analisadas e quantificadas de maneira diferente são a temperatura, a salinidade e a radiação. Quanto a análise de agentes contaminantes patogênicos, normalmente a caracterização começa pela identificação das fontes poluidoras e da possível origem do material contaminante. Para a determinação do oxigênio dissolvido, os modelos geralmente se utilizam das mesmas análises: dos processos que envolvem a DBO, da reaeração e da respiração. A ressuspensão, a sedimentação e a floculação são geralmente os processos considerados para se analisar os organismos em suspensão. E a eutrofização é um processo recorrente nas abordagens dos modelos simuladores de qualidade de água.

A seguir, procura-se descrever brevemente sobre os principais modelos utilizados atualmente:

➤ QUAL-UFMG

Criado em 2007 por Von Sperling, tem como objetivo modelar rios, levando como base o modelo QUAL2E. Segundo Perin (2013) o modelo analisa os seguintes parâmetros: DBO, OD, Nitrogênio Total e suas frações, Fósforo Total e suas frações e Coliformes Termotolerantes ou EC.

➤ HEC-RAS

Segundo compilação de Fan (2013) este modelo unidimensional de simulação da qualidade da água, utiliza a equação de advecção-dispersão para resolução numérica do modelo, permitindo a avaliação dos parâmetros de Nitrogênio, Fósforo, algas, OD, DBO e outros constituintes.

➤ IPH-MGBq

Desenvolvido por Larentis (2004) no IPH-UFRGS, também segundo compilação de Fan (2013) é um modelo adequado para aplicação em grandes bacias – com áreas maiores que 1000 km<sup>2</sup>. Avalia os constituintes: OD, DBO, Nitrogênio, Fósforo e Coliformes Totais. Como discretiza por células os trechos de corpos de água, o modelo permite a análise das condições hidrológicas de forma temporal.

➤ AQUASIM

Desenvolvido no Instituto Suíço de Ciência Ambiental e Tecnologia entre os anos de 1991 e 1994, sendo capaz de realizar simulações, análises de sensibilidade e estimar parâmetros (Oppa, 2007).

➤ AQUATOX

Desenvolvido pela USEPA – *US Environmental Protection Agency*, é um modelo de simulação da qualidade de água que busca analisar o comportamento de vários poluentes, bem como as consequências que estes representam para os peixes e demais seres do ambiente aquático, sendo importante ferramenta para a avaliação da qualidade do ambiente e da sobrevivência de certos ecossistemas (Oppa, 2007).

➤ BASINS

Também desenvolvido originalmente pela USEPA em 1996, este é um modelo que pode ser adequado para diversos usos, segundo Oppa (2007). Permitindo análises simultâneas de grande número de dados de diferentes fontes, pontuais ou não.

➤ WASP7

Novamente desenvolvido pela USEPA, agora em 2006, é uma versão atualizada do modelo desenvolvido na década de 70, permitindo a análise em até três dimensões. Segundo Oppa (2007), ele analisa os seguintes parâmetros: Nitrogênio, Fósforo, OD, DBO, algas, produtos químicos orgânicos, metais, mercúrio, agentes patogênicos e temperatura; além de ter ampla utilização nos EUA e em toda a América Latina.

➤ QUAL2E

Este modelo de Brown e Barnwell de 1987 é bastante versátil e abrange muitas situações, simulando até quinze parâmetros de qualidade de água, entre eles OD, DBO, temperatura, Nitrogênio e suas frações, Fósforo e suas frações, entre outros (Oppa, 2007).

➤ CE-QUAL-R1V1

Este modelo desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Environmental Laboratory* (1990) é um modelo hidrodinâmico onde a direção longitudinal é importante, sendo unidimensional, desprezando assim, as variações na direção transversal. Os parâmetros analisados são: temperatura, coliformes, Nitrogênio, DBO, algas, Fósforo, metais e OD (Oppa, 2007).

➤ DAFLOW

Modelo unidimensional de *US Geological Survey (USGS)*, que pode ser aplicado à regimes não permanentes e bem misturados. Foi projetado para trabalhar em corpos de água de maior declividade (Jobson, 1989).

➤ MIKE11

Este modelo é utilizado amplamente para a simulação da poluição urbana, contendo grande variedade de capacidade de análise. Oppa (2007, p. 28), descreve seus usos como:

- a) análise de riscos de inundação;
- b) previsão de inundação de tempo real;
- c) avaliação de qualidade de água em rios, reservatórios e áreas alagadas;
- d) previsão de qualidade de água e rastreamento de poluente;
- e) transporte de sedimentos e morfologia de rio;
- f) integração da água superficial e subterrânea para análise de água, sendo indicado para rios, canais e sistema de irrigação, pois simula escoamento superficial.

A tabela do anexo A exemplifica um pouco do que foi relatado, comparando diversos modelos e suas características.

### 3.6. CE-QUAL-W2

Após revisão bibliográfica acerca da aplicabilidade dos modelos matemáticos de qualidade de água, optou-se por utilizar neste trabalho o modelo CE-QUAL-W2, desenvolvido por *US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Environmental Laboratory*. A escolha baseou-se na ampla gama de trabalhos já realizados com auxílio dessa ferramenta e a ratificação de bons resultados. Sendo que XU et al (2007) relata a aplicação em mais de 1000 trabalhos desse modelo ao redor do mundo.

O modelo CE-QUAL-W2 vem sendo desenvolvido desde o ano de 1975 constantemente. Sua primeira versão era conhecida como LARM – *Laterally Averaged Reservoir Model* e foi desenvolvida por Edinger e Buchak (1995). Depois do aparecimento do modelo, muitas modificações foram sendo realizadas com o propósito de permitir variadas ramificações e condições de contorno. Quando o grupo de modelagem da qualidade da água da Estação Experimental de Engenheiros do Exército dos EUA adicionou alguns algoritmos de qualidade de água no modelo já existente, surgiu a Versão 1.0 do CE-QUAL-W2, no ano de 1986. Desde lá, o modelo sofreu diversas modificações, sendo desenvolvido nas versões: 2.0; 3.0; 3.1; 3.2; 3.5; 3.6; 3.7; 3.72; 4.0 e atualmente na versão 4.1, desenvolvida em 2018.

O modelo é hidrodinâmico, de qualidade de água bidimensional, ou seja, 2D, nas dimensões longitudinal e vertical; podendo ser aplicado em rios, estuários, lagoas, reservatórios e ainda, sistemas de bacias hidrográficas. Ainda, cabe ressaltar que a relação de matéria orgânica e nutrientes, bem como algas dissolvidas, oxigênio e matéria orgânica são alguns processos básicos de eutrofização que podem ser modelados pelo W2. Como capacidades que o modelo possui, se pode citar a atuação em sistemas estratificados e não estratificados, a quantificação de interações entre nutrientes, oxigênio dissolvido e matéria orgânica, além de levar em conta o habitat de peixes, retiradas seletivas, aeração, modelos dinâmicos internos tubulares ou para bueiros, estruturas hidráulicas como vertedouros e muitos outros. Uma limitação que pode ser citada é o fato de o modelo levar em conta que a mistura é bem realizada na direção lateral do escoamento.

Segundo Oppa (2007), o modelo pode simular 21 constituintes, além disso, inclui a temperatura em seus cálculos, prevendo a influência que este fator tem sobre a densidade da água. Já Souza (2006) relata ainda que por se tratar de um modelo hidrodinâmico, CE-QUAL-W2 simula uma elevação na lâmina de água, além de campos de velocidades e ratifica para a utilização da temperatura. Segundo este mesmo autor, é realizada de forma implícita a resolução da equação que leva em conta a elevação da lâmina de água, onde, para que isso aconteça, é eliminada a restrição de onda de gravidade, permitindo que grandes intervalos de tempo sejam considerados durante a realização da simulação, o que acaba ocasionando a diminuição do tempo computacional de forma considerável. Também afirma ainda que as condições de contorno variáveis são permitidas pela condição de regime não permanente.

Ainda Souza (2006) afirma que o modelo escolhido utiliza os princípios de conservação de massa e quantidade de movimento, através de suas equações para que assim se descreve o fenômeno do transporte dentro do escoamento. Segundo Fleck et al (2013) o funcionamento do modelo se baseia na resolução numérica de equações que norteiam os processos de transporte, temperatura e demais constituintes dissolvidos através de diferenças finitas. Ainda cita que o modelador ao realizar a análise pode utilizar o curso hídrico como descrito em camadas nas seções transversais, quanto à profundidade, bem como na direção do leito do rio, longitudinal. Souza (2006) cita declividades, orientação e largura das seções do leito, bem como condições de contorno não permanentes - vazão, concentração de substâncias dissolvidas e temperatura, dados meteorológicos e parâmetros cinéticos e hidráulicos como dados de entrada do modelo.

Segundo os princípios já abordados em que o modelo se baseia, Souza (2006) em seu trabalho de *Simulação Hidrodinâmica da Qualidade da Água*, utilizando o modelo CE-QUAL-W2, descreve as seguintes equações como importantes no processo de solução numérica do modelo escolhido:

Para o cálculo do módulo hidrodinâmico e qualidade da água, pode-se citar a seguinte formulação que corresponde à equação do movimento:

$$\frac{\partial ub}{\partial t} = \frac{\partial uub}{\partial x} + \frac{\partial wub}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial bp}{\partial x} + \frac{\partial \left( bA_x \frac{\partial u}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( bA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right)}{\partial z}$$

Sendo:

$u$  = velocidade média longitudinal [ $L \cdot T^{-1}$ ];

$x$  = coordenadas cartesianas longitudinais [L];

$w$  = velocidade média vertical [ $L \cdot T^{-1}$ ];

$z$  = coordenadas cartesianas verticais [L];

$t$  = tempo [T];

$b$  = largura do corpo d'água [L];

$\rho$  = densidade [ $M \cdot L^{-3}$ ];

$p$  = pressão [ $M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$ ];

$A_x$  = viscosidade turbulenta na direção longitudinal [ $L^2 \cdot T^{-1}$ ];

$A_z$  = viscosidade turbulenta na direção vertical [ $L^2 \cdot T^{-1}$ ].

Também deve-se levar em conta a tão utilizada Equação da Continuidade:

$$\frac{\partial ub}{\partial x} + \frac{\partial wb}{\partial z} = qb$$

Sendo:

$u$  = velocidade média longitudinal [ $L \cdot T^{-1}$ ];

$x$  = coordenadas cartesianas longitudinais [L];

$w$  = velocidade média vertical [ $L \cdot T^{-1}$ ];

$z$  = coordenadas cartesianas verticais [L];

$b$  = largura do corpo d'água [L];

$q$  = contribuição lateral para a vazão de entrada e saída [ $L^3 \cdot T^{-1} \cdot L^{-1}$ ].

E ainda a equação da Elevação da Superfície Livre:

$$\frac{\partial b_{\eta}\eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int_{\eta}^h ub dz - \int_{\eta}^h qb dz$$

Sendo:

$b_{\eta}$  = variação temporal e espacial da largura da superfície [L];

$z$  = localização da superfície livre [L];

$h$  = profundidade total [L];

$q$  = contribuição lateral para a vazão de entrada e saída [ $L^3 \cdot T^{-1} \cdot L^{-1}$ ].

A equação da Pressão Hidrostática:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho g$$

Sendo:

$g$  = aceleração da gravidade [ $L \cdot T^{-2}$ ];

$z$  = coordenadas cartesianas verticais [L];

$\rho$  = densidade [ $M \cdot L^{-3}$ ];

$p$  = pressão [ $M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$ ].

E a equação de Estado que representa a dependência de temperatura que tem a densidade específica, além da dependência também dos sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos inorgânicos:

$$\rho = \varphi(T_w, \Phi_{SDT}, \Phi_{SSI})$$

E por fim, para que se leve em conta o módulo de transporte de massa, o modelo utiliza a equação de transporte das variáveis de qualidade de água, que pode ser descrita da seguinte forma:

$$\frac{\partial b\Phi}{\partial t} = \frac{\partial ub\Phi}{\partial x} + \frac{\partial wb\Phi}{\partial z} - \frac{\partial \left( bD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( bD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)}{\partial z} = q_{\Phi}b + S_{\Phi}b$$

Sendo:

$\Phi$  = concentração média transversal do elemento [ $M \cdot L^{-3}$ ];

$u$  = velocidade média longitudinal [ $L \cdot T^{-1}$ ];

$x$  = coordenadas cartesianas longitudinais [ $L$ ];

$w$  = velocidade média vertical [ $L \cdot T^{-1}$ ];

$z$  = coordenadas cartesianas verticais [ $L$ ];

$t$  = tempo [ $T$ ];

$b$  = largura do corpo d'água [ $L$ ];

$D_x$  = coeficiente longitudinal de dispersão do constituinte e temperatura [ $L^2 \cdot T^{-1}$ ];

$D_z$  = coeficiente vertical de dispersão do constituinte e temperatura [ $L^2 \cdot T^{-1}$ ].

$q_{\Phi}$  = taxa de carga de entrada e saída lateral do constituinte [ $M \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}$ ];

$S_{\Phi}$  = termo de perdas ou ganhos das médias laterais do constituinte [ $M \cdot L^{-3} \cdot T^{-1}$ ].

Souza (2006) ainda classifica o modelo CE-QUAL-W2 como “estado da arte” em relação aos outros modelos de qualidade da água. Segundo Orlob et al (1983), o sistema pode ser considerado por uma aproximação de duas dimensões, se as dimensões do corpo de água laterais são pequenas o suficiente quando comparadas as dimensões longitudinais. Segundo Molinas e Souza Filho (2011), a simplificação da realidade realizada pelo modelo em estudo é esta, referentes a consideração bidimensional.

Molinas e Souza Filho (2011) descrevem o processo de modelagem do modelo CE-QUAL-W2 como sendo realizado em três etapas, pré-processamento, simulação e pós-processamento. No *pré-processamento*, primeiramente é definido o objeto que vai ser estudado, bem como o escopo da modelagem; depois se realiza a coleta e posterior organização dos dados que serão utilizados; o próximo passo inclui a análise dos dados que foram obtidos e a verificação da

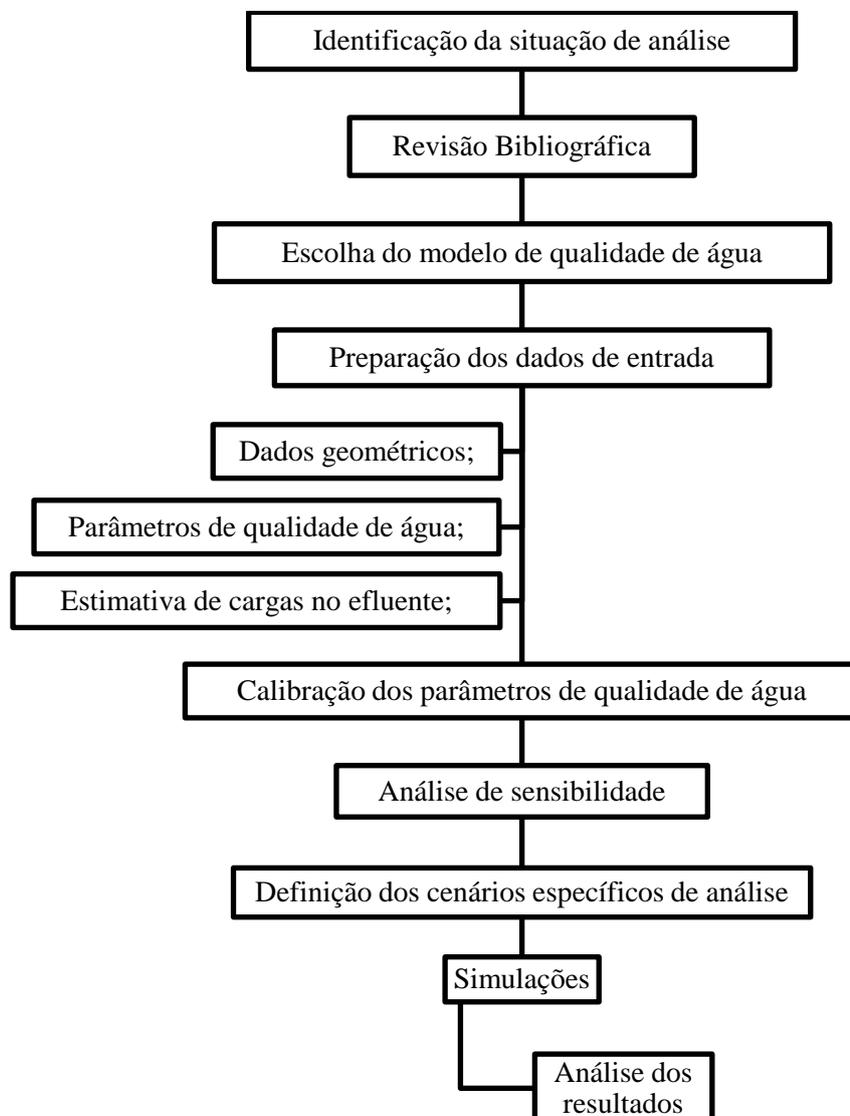
consistência desses dados; definidas as condições de contorno, os dados são adequados à forma requisitada pelo modelo e são preparados os arquivos necessários dentro dos formatos permitidos; então é realizada a execução do arquivo para uma posterior verificação de existência de erros e advertências e por fim a obtenção dos arquivos de saída desta etapa.

Na seguinte etapa, de simulação, é realizada a execução do programa propriamente dito, com posterior calibração dos dados, suas verificações para quanto o bom funcionamento e finalmente, a obtenção dos resultados definitivos. Por último, na etapa de pós-processamento, os resultados definitivos são analisados, para que seus dados sejam transferidos para gráficos e tabelas, de melhor visualização, as hipóteses formuladas no início da modelagem são avaliadas para que possam ser confirmadas ou refutadas em caso de não se mostrarem verdadeiras, sendo que agora novas hipóteses são geradas de acordo com os resultados que foram obtidos e por fim, são geradas conclusões finais sobre o estudo e podem ser indicadas algumas tomadas de decisões no processo de gerenciamento dos recursos hídricos.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo busca abordar o procedimento para a avaliação da qualidade da água no Rio Gravataí de acordo com o cenário proposto por esse trabalho: extravasamento da câmara de chegada da ETE Mato Grande. Serão expostos os dados utilizados na simulação realizada, os métodos de cálculo para as cargas provenientes do esgoto simulado, bem como os cenários desenvolvidos na simulação. O fluxograma representado na Figura 11 resume as etapas da realização deste trabalho.

Figura 11 - Fluxograma das etapas de realização do trabalho



(fonte: Autor)

Assim, os dados apresentados nos capítulos a seguir representam a preparação do modelo para a realização das simulações aqui propostas.

#### 4.1. GEOMETRIA E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO GRAVATAÍ SIMULADAS

A batimetria utilizada na modelagem utilizou-se da base cartográfica elaborada na escala 1:250 000 do Rio Grande do Sul, desenvolvida pelo Laboratório de Geoprocessamento – LABGEO, do Centro de Ecologia da UFRGS. Para elaboração desta base, o laboratório utilizou as cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército e um modelo numérico de terreno. A Figura 12 apresenta a base hidrográfica do estado do Rio Grande do Sul, pertencente ao fuso 22 da projeção UTM utilizada na elaboração da geometria utilizada na simulação.

Figura 12 - Hidrografia da base cartográfica do Rio Grande do Sul (sem escala)

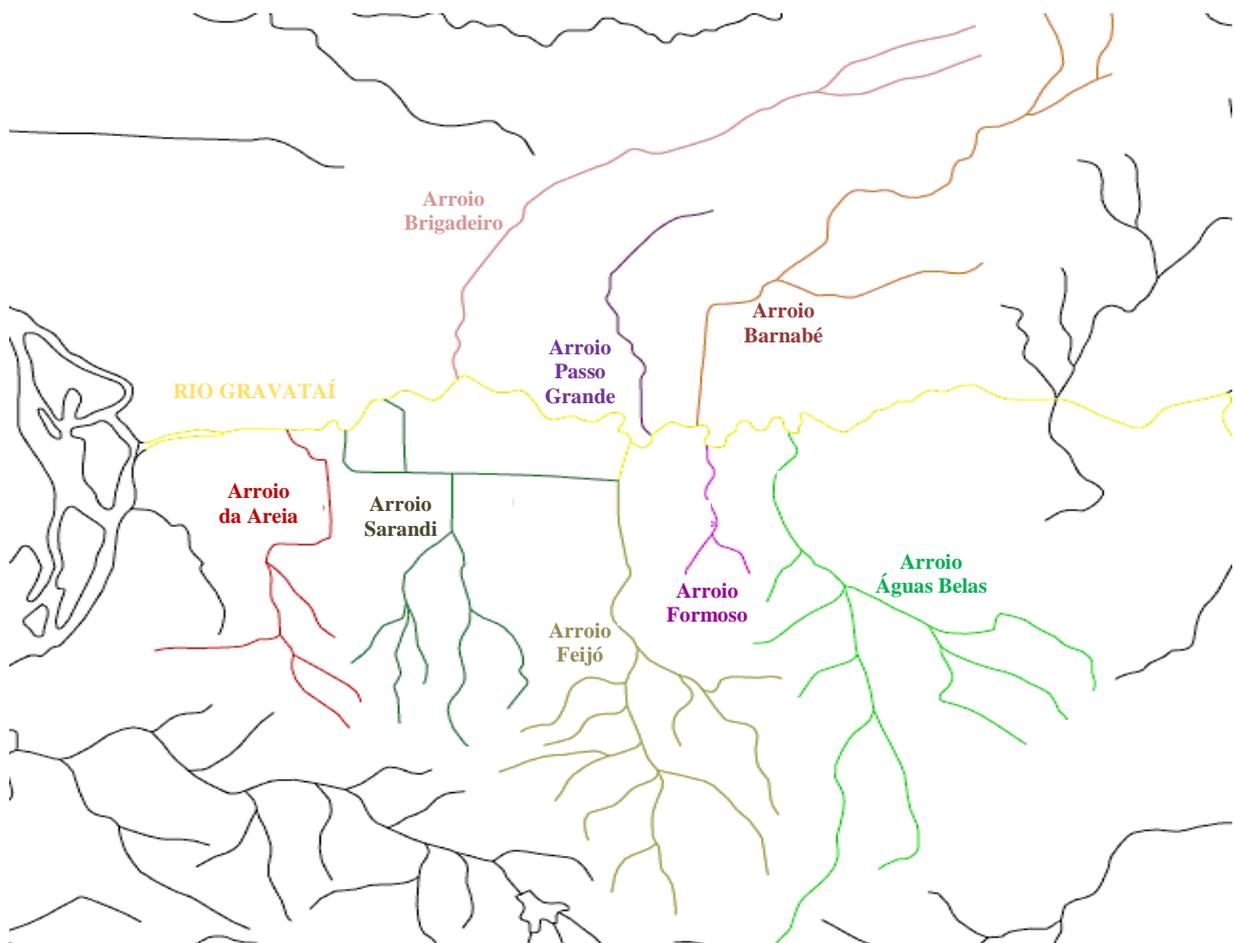


(fonte: LABGEO, 2016)

Com base neste arquivo, localizou-se a posição do Rio Gravataí, onde se realizou a discretização do trecho final do rio em segmentos de reta, obtendo-se para cada segmento seu comprimento longitudinal e sua inclinação. Determinou-se a inclinação de cada segmento orientado de leste para oeste pelo ângulo que este possui com a direção norte. Assim, utilizaram-

se 46 segmentos de reta, com comprimentos variáveis de 136 até 994 metros. O traçado dos segmentos buscou acompanhar o rio, que no trecho analisado apresenta-se relativamente sinuoso, por isso alguns segmentos foram analisados com comprimentos menores. Ao todo, a simulação analisou um comprimento de 22,7 km de extensão do Rio Gravataí. Na Figura 13 encontra-se explicitado o trecho do Gravataí analisado (linha amarela), bem como os diferentes afluentes que compõe a bacia nesta área.

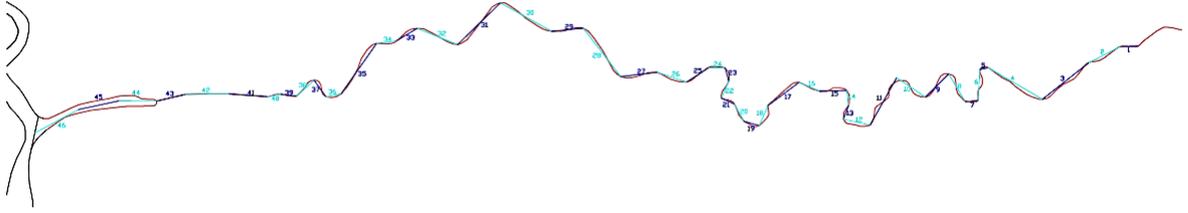
Figura 13 - Rio Gravataí através da Base Cartográfica do RS



(fonte: Autor)

A Figura 14 apresenta a discretização completa em segmentos de reta realizada no Rio através das curvas da base cartográfica.

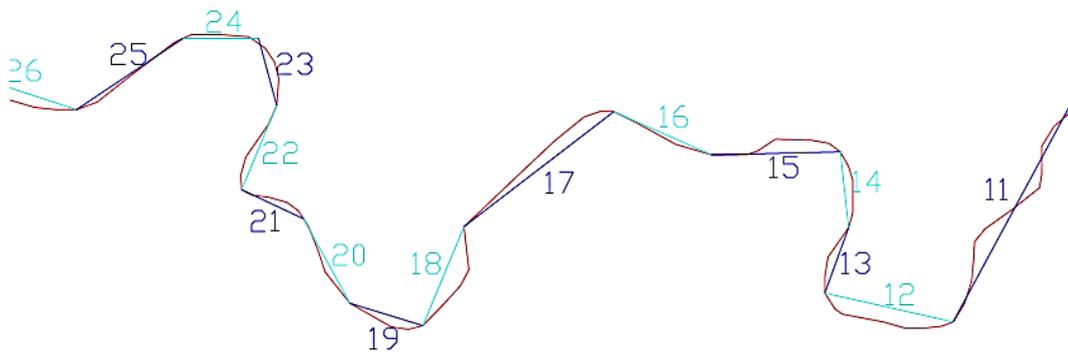
Figura 14 - Discretização Trecho Inferior Rio Gravataí



(fonte: Autor)

Já na Figura 15, pode-se notar com maior detalhe o processo de discretização. Apresenta-se o traçado natural do rio em cor vermelha e a discretização realizada em tons de azul intercalados. Ressalta-se que os segmentos de reta são apenas uma aproximação do leito natural do Rio, já que o modelo não suporta formas mais complexas de inserção destes dados.

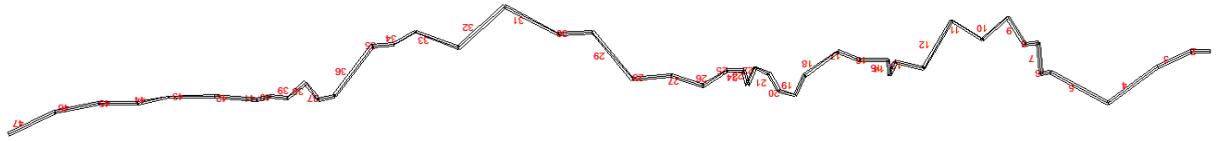
Figura 15 - Detalhe de discretização



(fonte: Autor)

Com os dados inseridos no modelo CE-QUAL-W2, obteve-se o perfil longitudinal apresentado na Figura 16, o qual apresenta uma geometria semelhante ao perfil natural do rio analisado.

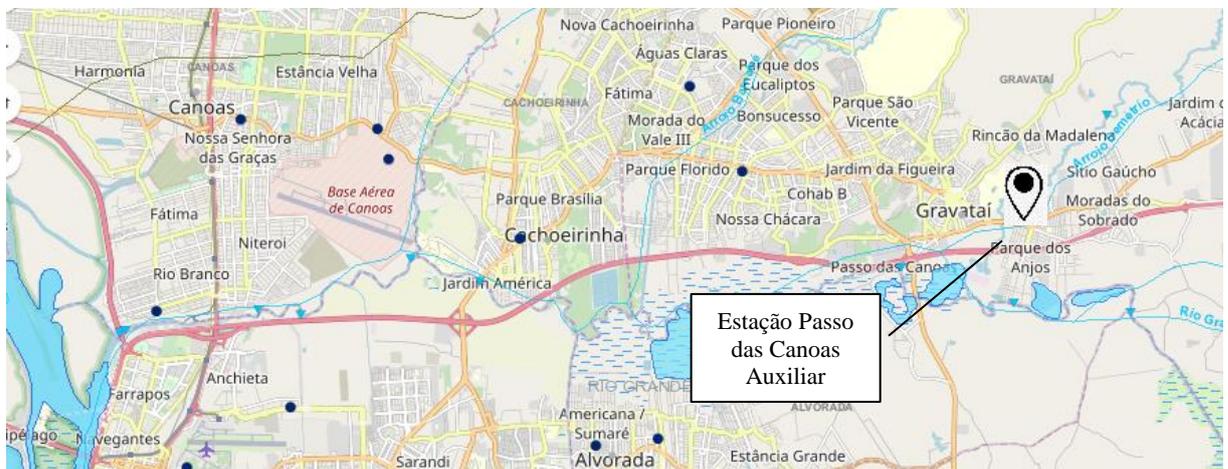
Figura 16 - Perfil Longitudinal no Modelo



(fonte: Autor)

Para o levantamento de dados das seções transversais do Rio, utilizou-se o Sistema de Informações Hidrológicas - Hidroweb, ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos, que utiliza os dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional, coordenados pela Agência Nacional de Águas – ANA. O Rio Gravataí possui 24 estações fluviométricas que coletam diversos dados, desde a medição de níveis do Rio, até dados sobre a qualidade de água. Porém, de todas as estações encontradas no portal Hidroweb para o Rio analisado, apenas para estação *Passo das Canoas Auxiliar*, com a localização representada na Figura 17, foram encontrados dados de medição para a seção transversal do Rio.

Figura 17 - Localização Estação Passo das Canoas Auxiliar

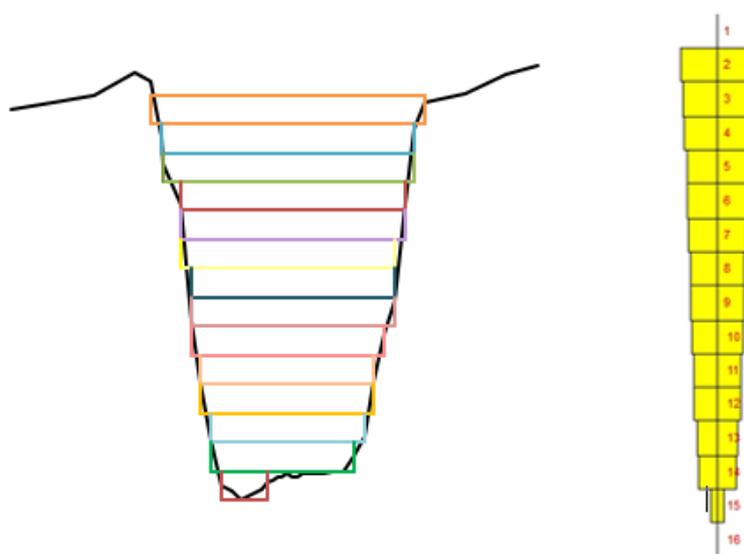


(fonte: Plano de Bacia Rio Gravataí, 2012 – modificado pelo autor)

Assim, por limitação de disponibilidade de dados e simplificação do modelo, adotou-se esta seção como uniforme para todo o perfil analisado. Cabe ressaltar, que esta seção na geometria real do Rio se modifica ao longo de todo o leito até sua foz, possuindo trechos com uma largura de superfície menor e alguns trechos com largura de superfície maior, principalmente nos trechos próximos a foz. Porém, com uma largura de aproximadamente 54 metros, a seção utilizada se mostra representativa da média das larguras do trecho analisado.

Os dados encontrados na *Estação de Passo das Canoas Auxiliar* foram coletados em diversas datas, já que o leito de um rio é uma estrutura em permanente evolução e modificação. Assim, utilizou-se os dados coletados em uma das últimas medições, bem como elegeu-se a coleta que possuía mais pontos de medição horizontais e verticais. Assim, na Figura 18, encontra-se graficado o traçado do perfil transversal realizado através dos dados de medição da estação mencionada, bem como já pode-se notar a discretização vertical realizada para a inserção no modelo, que necessita que a seção transversal seja incluída em camadas retangulares. A Figura 18 também apresenta a seção gerada pelo modelo, fora de escala.

Figura 18 - Seção Transversal Rio Gravataí



(fonte: Autor/Modelo CE-QUAL-W2)

Completando os dados utilizados na elaboração da batimetria utilizada na modelagem, para a estimativa da inclinação do rio utilizou-se o software Google Earth, obtendo-se uma cota na origem do trecho modelado de 5 m e uma cota no fim de trecho de 4 m para um trecho de aproximadamente 22 km. Assim, utilizou-se uma inclinação de aproximadamente 0,00007 m/m. Por se tratar de um Rio de planície, com baixas velocidades, sinuoso e com muitos meandros (Plano de Bacia Rio Gravataí, 2012), considerou-se esta aproximação como representativa para o trecho analisado.

Para a modelagem, estimou-se uma série de vazões para o trecho analisado, com base nas vazões de referências estimadas no Plano de Bacia (2012). Para isso, buscou-se analisar vazões pequenas até vazões maiores, correspondentes aos eventos de chuva, os quais esse trabalho propõe seus objetivos. Assim, das vazões de referência disponíveis, utilizaram-se os dados das vazões com permanência de 95%, 90%, 85%, 75% e 60% do tempo, referentes ao trecho próximo da foz do Rio, bem como a vazão de longo período desse trecho, além das vazões médias das Estações *Passo das Canoas Auxiliar* e *Passo das Canoas*, que são as estações com vazões médias calculadas mais próximas do trecho simulado. Por fim, buscando-se uma vazão menor, utilizou-se das vazões de referência por sub-bacia, a vazão de longo período da sub-bacia do baixo Gravataí, margem esquerda. As vazões utilizadas estão elencadas na Tabela 3, bem como estão relacionadas com a sua recorrência e a localização de onde foram medidas.

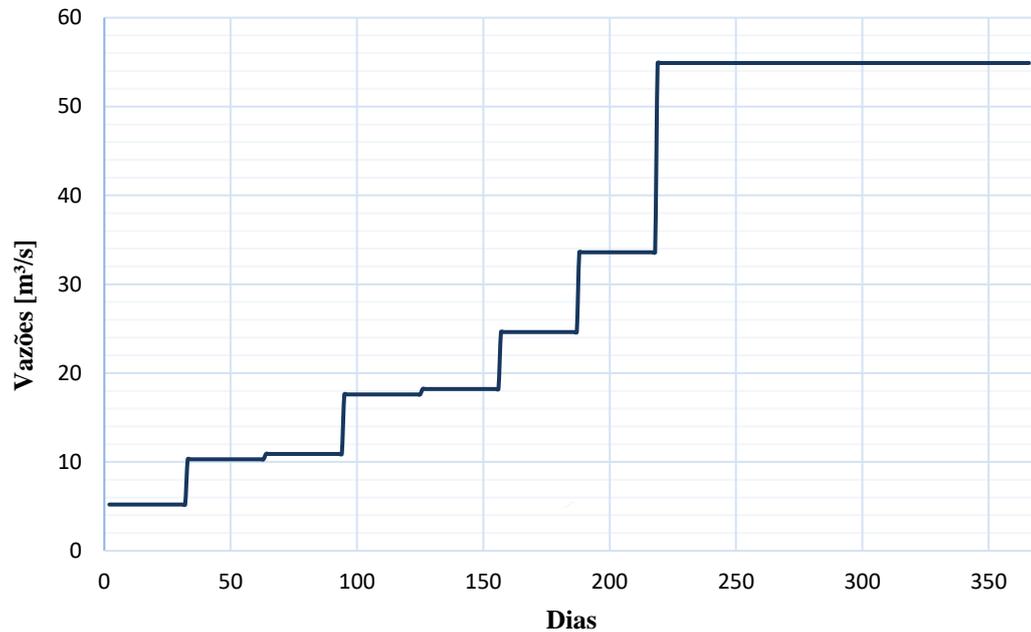
Tabela 3 - Série de Vazões simulada

<b>Série</b>		
<b>Vazões de Referência</b>	<b>Estação/Trecho</b>	<b>Vazões [m<sup>3</sup>/s]</b>
Q <sub>lp</sub> - longo período	Baixo Gravataí - Margem Esquerda	5.21
Q <sub>95</sub> e Q <sub>90</sub>	Gravataí - Foz	10.3
Q <sub>85</sub>	Gravataí - Foz	10.9
Q <sub>75</sub>	Gravataí - Foz	17.6
Q <sub>média</sub>	Passo Canoas	18.21
Q <sub>média</sub>	Passo Canoas Auxiliar	24.62
Q <sub>60</sub>	Gravataí - Foz	33.6
Q <sub>lp</sub> - longo período	Gravataí - Foz	54.9

(fonte: Autor)

Para a inserção das vazões na simulação, cada vazão simulada teve um tempo de permanência de aproximadamente 30 dias, sendo que a última vazão possuiu um tempo de permanência maior, afim de que os resultados pudessem ser notados a longo prazo. A Figura 19 representa a série de vazões simulada.

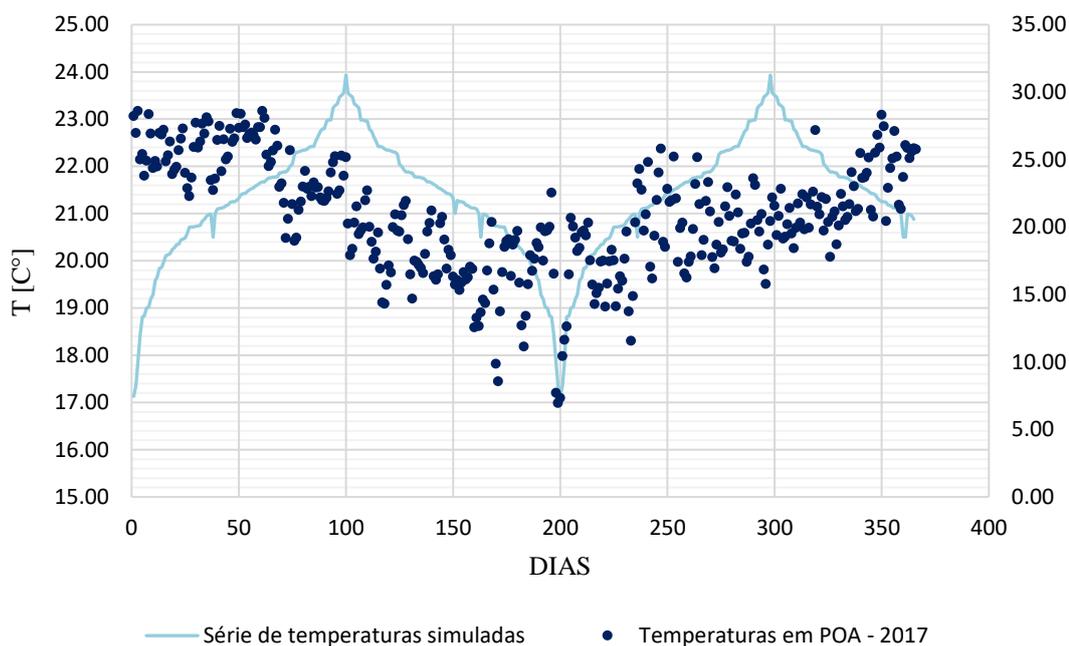
Figura 19 - Série de Vazões Simuladas



(fonte: Autor)

A série de temperaturas da simulação foi elaborada com base nos dados presentes no Plano de Bacia (2012), sendo considerados os dados levantados pelas estações de monitoramento da FEPAM, já descritas neste trabalho. Como os dados presentes no registro das estações descritos no plano, tratavam-se de médias anuais, para a elaboração da série, primeiramente ordenou-se os dados de temperatura de forma crescente. Como estes dados não eram suficientes para cobrir integralmente o tempo de simulação, acrescentou-se, agora de forma decrescente os mesmos dados e assim sucessivamente, afim de que completassem o tempo necessário. No resultado, apresentado (linha rosa) na Figura 20, pode-se notar que a série teve um decréscimo de temperaturas no início da simulação e no tempo intermediário.

Figura 20 - Temperaturas Médias Rio Gravataí x Temperaturas POA 2017

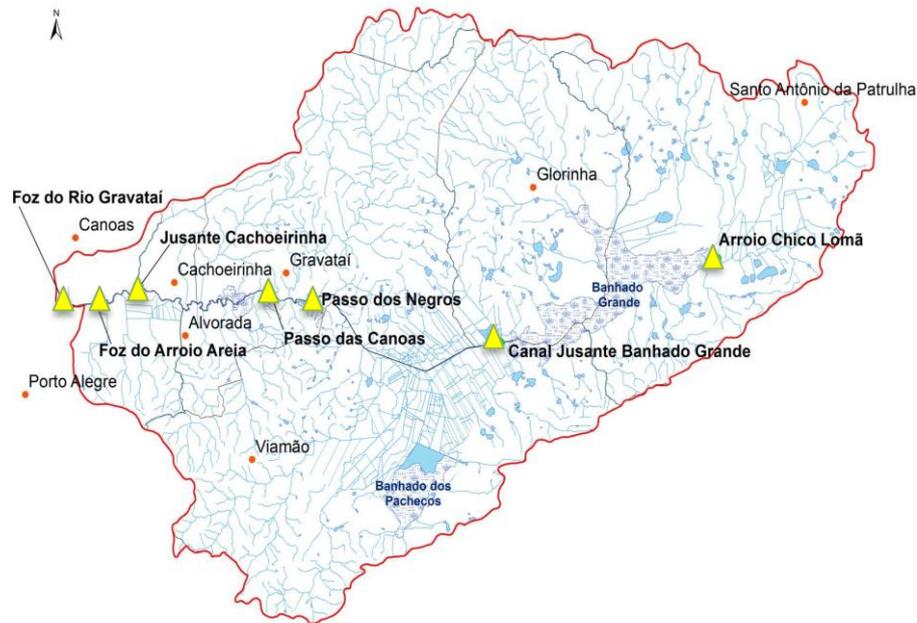


(fonte: Autor)

O resultado obtido nessa série foi bastante interessante porque se assemelha muito com as temperaturas que ocorrem durante um ano na região de estudo. Na Figura 20, os pontos (em azul) marcados representam as temperaturas diárias medidas no ano de 2017 na cidade de Porto Alegre, região muito próxima ao Rio Gravataí, com os dados sendo obtidos no INMET. Pode-se notar no gráfico da Figura 20, as temperaturas mais baixas na região intermediária, onde se poderia considerar uma estação climática referente ao inverno, onde as temperaturas caem no sul do país, e ainda, temperaturas mais elevadas que representariam as estações mais quentes, como o verão. Pode-se ainda notar, que a maior divergência se dá no início da série, onde iniciou-se a elaboração da série em ordem crescente de ordenação dos dados, divergindo dos dados anuais, que começam em janeiro, estação quente em Porto Alegre e região sul.

Para finalizar a preparação do modelo, fez-se também necessário o estabelecimento da qualidade de água atual que o Rio Gravataí possui, com as cargas de esgoto que são lançadas ao longo de seu leito até a foz, região a ser analisada por esse trabalho. Para isso, novamente os dados apresentados no Plano de Bacia do Rio Gravataí (2012) foram utilizados. Primeiramente, fez-se uma análise da qualidade do rio ao longo de toda sua longitude, para isso, utilizou-se a Figura 21 que relata a localização espacial na bacia de cada estação, para que cada os dados de qualidade de cada uma fossem comparados com a sua localização em termos da região da bacia onde se encontra.

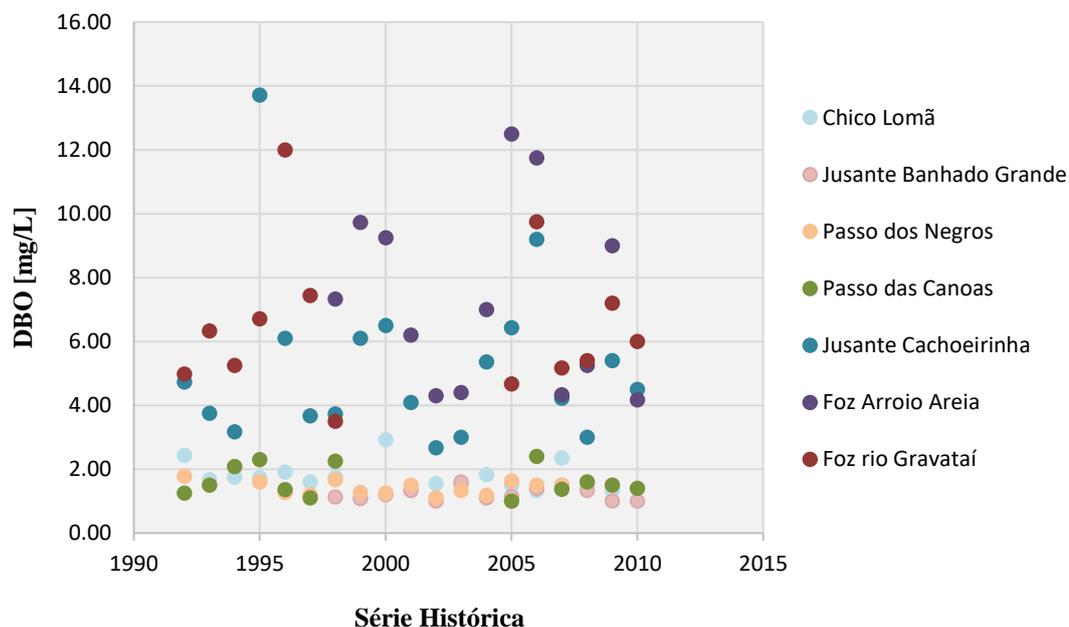
Figura 21 - Localização das estações de controle na bacia do Rio Gravataí



(fonte: Plano de Bacia Rio Gravataí, 2012)

A Figura 21, mostra a localização das estações de monitoramento da FEPAM, que foram analisadas inicialmente. O primeiro parâmetro analisado foi a demanda bioquímica de oxigênio – DBO, que comportando-se como previsto, apresentou valores maiores para as estações *Jusante Cachoeirinha*, *Foz do Arroio Areia* e *Foz do Rio Gravataí*, as três estações mais a jusante encontradas, ratificando o fato que durante seu trajeto longitudinal o Rio Gravataí recebe muitas cargas poluidoras. Isso apresenta-se de forma clara na Figura 22, onde se pode notar valores com uma alta amplitude, entre as estações *Foz do Rio Gravataí* e *Chico Lomã*, por exemplo, que representam as estações mais distantes encontradas na bacia. Cabe ressaltar que o gráfico também representa as variações ocorrida ao longo dos anos, mas no parâmetro de DBO, não é possível visualizar modificações drásticas em relação ao tempo.

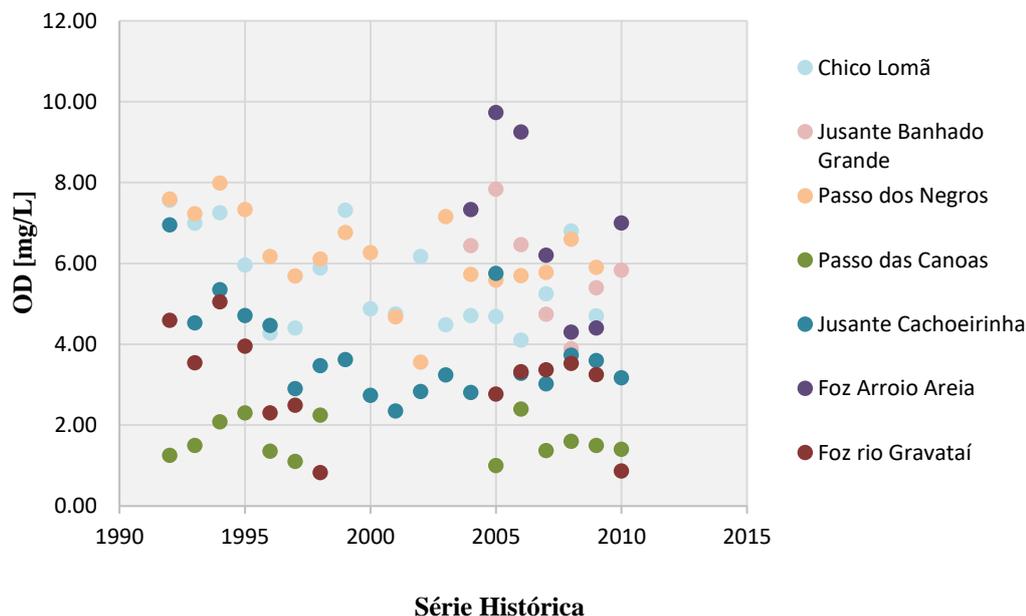
Figura 22 - Dados de DBO nas estações de monitoramento da FEPAM



(fonte: Autor)

Seguindo a análise de qualidade atual do Rio Gravataí, a Figura 23 representa a evolução ao longo dos anos, nas 7 estações de monitoramento, do parâmetro de oxigênio dissolvido. Pode-se notar também, que as estações de *Chico Lomã*, *Jusante Banhado Grande* e *Passo dos Negros*, apresentam valores maiores e, portanto, melhores indicadores de qualidade de água. Porém, diferentemente da demanda bioquímica de oxigênio, este parâmetro apresenta essa tendência de forma menos clara, já que em alguns pontos, a disponibilidade de oxigênio nas estações mais a jusante (pontos mais escuros) tem a mesma concentração das estações a montante citadas. Ainda se ressalta, que para as estações a jusante, em alguns anos, pode-se encontrar valores muito baixos de oxigênio, chegando perto da nulidade de concentração mesmo.

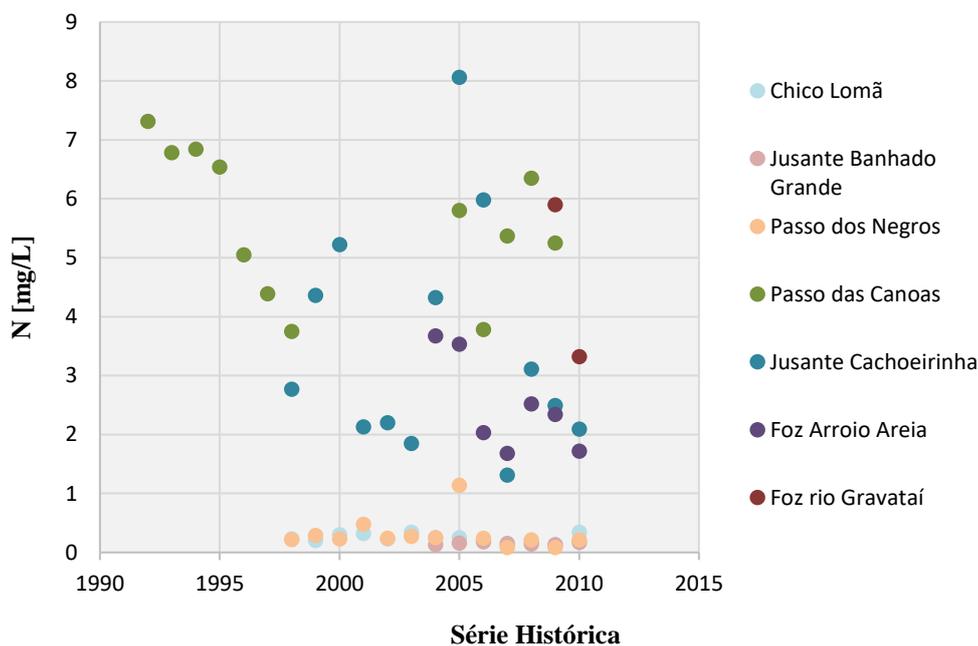
Figura 23- Dados de OD nas estações de monitoramento da FEPAM



(fonte: Autor)

Ao analisar-se os níveis de nitrogênio amoniacal total, apresentados na Figura 24, novamente se torna clara a diferença entre as estações mais próximas as nascentes, das estações a jusante do Rio. Os níveis de concentração de nitrogênio nas estações *Chico Lomã*, *Jusante Banhado Grande* e *Passo dos Negros*, são quase nulos, muito diferente do que acontece nas estações de jusante, onde os níveis chegam a superar 8 mg/l em alguns lugares. Porém, vale ressaltar também que não se pode notar tendência de redução ou aumento nos últimos 15 anos. Pode-se dizer que o aumento da concentração de nitrogênio ao longo do traçado do Rio, poder ser indicativo de contaminação de fertilizantes largamente utilizados nos sistemas de agricultura atuais.

Figura 24 - Dados de Nitrogênio Amoniacal Total nas estações de monitoramento da FEPAM



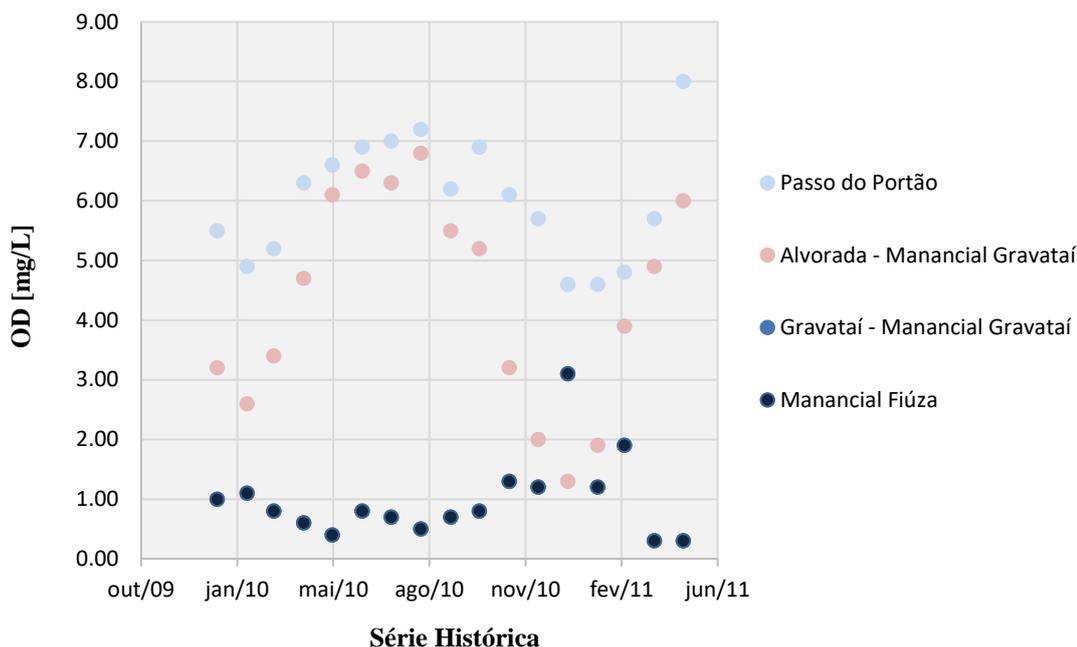
(fonte: Autor)

Quanto aos dados de Fósforo Total elencados pelo Plano de Bacia (2012) e apresentados na Figura 25 a seguir, pode-se notar um comportamento um pouco diferente, dos parâmetros já relatados. A concentração de Fósforo se mostra muito baixa, para a maioria das estações. Pode-se notar um pequeno aumento na concentração das estações à jusante, em relação as estações de montante, mas esse aumento é pequeno, já que os valores praticamente não ultrapassam a concentração de 1 mg/l. Todavia, como fator que se destaca, pode-se notar que na estação *Foz Rio Gravataí*, a estação mais a jusante e também a mais representativa da seção simulada, os níveis de Fósforo aumentaram consideravelmente nos últimos anos, chegando em concentrações de aproximadamente 6 mg/l. Este trabalho não tem como pretensão indicar as causas desta poluição, mas especula-se que este aumento também é um indicativo de poluição por produtos utilizados na agricultura.





Figura 28 - Dados de OD nas estações de monitoramento da CORSAN



(fonte: Autor)

Da análise da qualidade da água, optou-se pela utilização dos valores dos parâmetros medidos pelas estações da FEPAM, já que estas estações possuem medições de maior tempo, possuindo assim, uma maior possibilidade de análise dos processos que vem ocorrendo ao longo do rio, durante cerca de 15 anos. Além de que, estas estações estão localizadas mais próximas ao leito do rio principal e também a região de análise da simulação.

#### 4.2. ESTIMATIVA DAS CARGAS PRESENTES NO ESGOTO

Para que se desse início as simulações propostas neste trabalho, fez-se necessário estimar as cargas e vazão que o canal extravasor da ETE Mato Grande conduz, no cenário estudado, para o Rio Gravataí. Assim, utilizou-se para essa estimativa o canal apresentado na Figura 29, que segundo dados da CORSAN, transportava tanto as vazões excedentes da câmara de chegada da ETE como o efluente tratado pela Estação de Tratamento de Esgotos, alguns anos atrás para o Rio Gravataí. Atualmente, tem-se informações que depois de obras de drenagem realizadas na cidade de Canoas, essas vazões estão sendo desviadas para um canal próximo da ETE, que está ligado ao Delta do Rio Jacuí. Na Figura 29, a extensão e localização do canal referido nesta simulação está especificada (linha amarela).

Figura 29 - Canal Extravasor Simulado (ETE Mato Grande até o Rio Gravataí)



(fonte: Autor)

Para obter-se um cálculo aproximado de vazão conduzida por este canal, estimou-se sua geometria e calculou-se a vazão conduzida pelo mesmo, através da formulação de Chezi Manning (1769):

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Sendo:

$Q$  – vazão [m<sup>3</sup>/s];

$n$  – coeficiente de Manning (rugosidade);

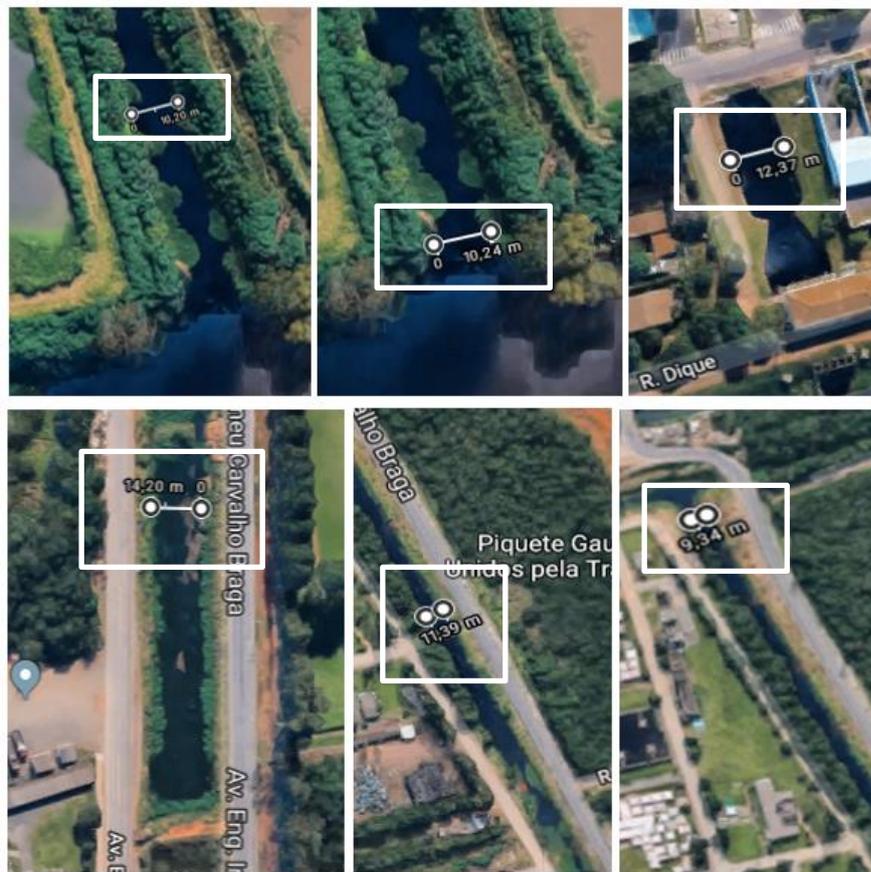
$A$  – área do canal [m<sup>2</sup>];

$R_h$  – raio hidráulico (relação entre área molhada e perímetro molhado [m];

$I$  – inclinação do fundo [m/m].

Assim, para o coeficiente de Manning, em um canal revestido em concreto, como seria o canal analisado segundo informações da CORSAN, utilizou-se um coeficiente de 0,014, de acordo com o Tucci (1998). Para uma estimativa preliminar de inclinação, usando a informação que o canal possui uma baixa declividade, estimou-se a mesma inclinação deliberada para o próprio Rio Gravataí de 0,00007. Para o cálculo da área e perímetro molhado da seção, faz-se necessário o conhecimento da geometria do canal, aproximado como de seção retangular. Para o cálculo da largura da base, utilizou-se imagens de satélite do software *google maps*, com medições através de ferramenta de régua disponível. Foram medidos vários pontos do canal, como apresentado na Figura 30, onde alguns pontos estão localizados mais perto do deságue do canal no Rio Gravataí e outros pontos estão medidos em posições mais a montante, perto da saída da ETE Mato Grande. Com as medições nos seis pontos apresentados, realizou-se uma média simples e a largura de base calculada e utilizada nos cálculos foi de 11,30 m. Estimou-se uma lâmina de água de 50 cm.

Figura 30 - Medições largura da base - Canal Extravasor simulado ETE Mato Grande



(fonte: *Google Maps* – Compilado pelo autor)

A vazão obtida nestes cálculos foi de 2 m<sup>3</sup>/s.

Para o prosseguimento da estimativa das cargas presentes no efluente simulado neste trabalho, primeiramente estimou-se o número de contribuições por habitante da cidade de Canoas. Segundo o censo realizado pelo IBGE no ano de 2010, cerca de 75.593 domicílios eram atendidos por rede geral de esgotos. Também se obteve dados para o número de moradores em cada domicílio que estão apresentados na Tabela 4 a seguir. A partir do número de moradores por domicílio, calculou-se o número médio ponderado de moradores por domicílio, também apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Média de moradores por domicílio - Canoas 2010

Média do número de moradores	
Nº moradores	Domicílios
1	13746
2	26503
3	27432
4	20323
5	8942
6	3842
7	1598
8	757
9	360
10	190
11	184
Total:	103877
Média:	3.10

(fonte: Autor)

O IBGE também mediu o número de habitantes na cidade de Canoas em 2010, obtendo um valor de 323.827 habitantes. Em seu sistema de informação *IBGE Cidades*, este instituto também realiza a projeção de habitantes para o ano de 2018, que é de 344.957 habitantes, demonstrando um aumento de aproximadamente 7%. Assim, os dados de domicílios existentes na cidade de Canoas foram multiplicados pelo número de moradores médio de cada domicílio e atualizados para o ano de 2018, utilizando a aproximação calculada pela projeção do IBGE, obtendo-se uma quantidade de 250.010 habitantes que em 2018 utilizam o sistema de esgoto que arrecada as águas servidas e as transporta para a ETE Mato Grande.

Para o cálculo das concentrações apresentadas pelo esgoto simulado, utilizou-se a seguinte metodologia: primeiramente, através de dados tabelados por Von Sperling (2014), buscou-se parâmetros dos constituintes analisados em gramas por habitante, em cada dia. Esse valor foi

multiplicado pela população atendida pela ETE já mencionada e transformada em carga em quilos por dia. Esse valor foi enfim multiplicado pela vazão estimada para o canal e então encontrou-se a concentração de cada parâmetro contida no esgoto simulado, em mg/l, após as devidas transformações de unidades. Os dados obtidos estão relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações dos parâmetros simulados no esgoto

Parâmetro	Carga [g/hab.dia]	Concentração [mg/l]
Nitrogênio Total	8	12
Fósforo Total	3	4
DBO	30	43
OD	-	0

(fonte: Autor)

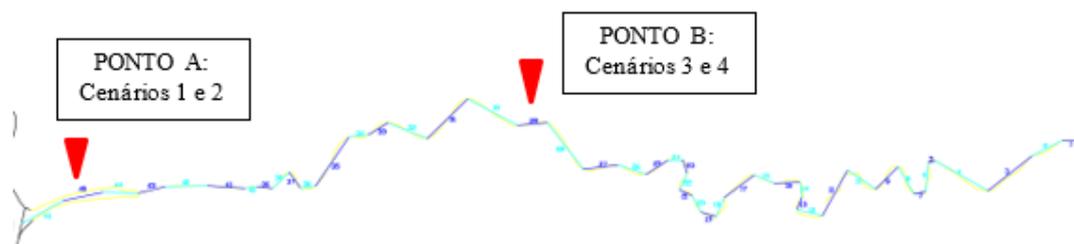
Os dados de concentrações obtidos e relacionados na tabela foram utilizados na simulação, representando a qualidade do efluente lançado no corpo receptor.

### 4.3. CENÁRIOS SIMULADOS

Após a preparação dos dados descritos até agora, iniciou-se a simulação propriamente dita no modelo CE-QUAL-W2. Para o escopo deste trabalho foram simulados quatro cenários. Os cenários 1 e 2, que podem ser observados na Figura 31, referem-se ao despejo do efluente da ETE Mato Grande no segmento 46, penúltimo segmento simulado, correspondente a situação em que o canal utilizado para a estimativa de vazões depreendidas pelo extravasamento da ETE era utilizado para fazer este by-pass, situação real que acontecia na cidade de Canoas, alguns anos atrás.

Os cenários 3 e 4, correspondem a um cenário possível, onde espera-se obter resultados sobre o comportamento do lançamento desse efluente em uma condição mais a montante de sua foz. Estes cenários também podem ser observados na Figura 31. Eles correspondem a um despejo efetuado no segmento 29 proposto nessa simulação.

Figura 31 - Cenários Simulados



(fonte: Autor)

A distinção entre os cenários 1 e 2 (que também se faz nos cenários 3 e 4), diz respeito a concentração de oxigênio dissolvido presente no efluente lançado no corpo receptor. Para o cálculo de esgotos propriamente ditos, utiliza-se uma concentração nula de OD, porém, como neste trabalho, busca-se fazer uma análise sobre eventos ligados ao aumento da vazão de chegada na ETE causada por ligações irregulares de águas pluviais na rede, estimasse que as condições do efluente lançado não sejam as mesmas de um esgoto bruto. Porém, analisa-se a pior situação, sem presença de oxigênio e também uma situação alternativa, correspondente aos cenários 2 e 4, com uma concentração inicial de OD de 1 mg/l.

Cabe ressaltar por fim, que foram discretizados 46 segmentos de reta para o perfil longitudinal do Rio. Porém, na simulação, os segmentos de entrada e saída, são nulos, portanto, pode-se observar que quando fala-se na simulação, o trecho possui 48 segmentos, sendo assim o segmento 1 e o segmento 48 nulos.

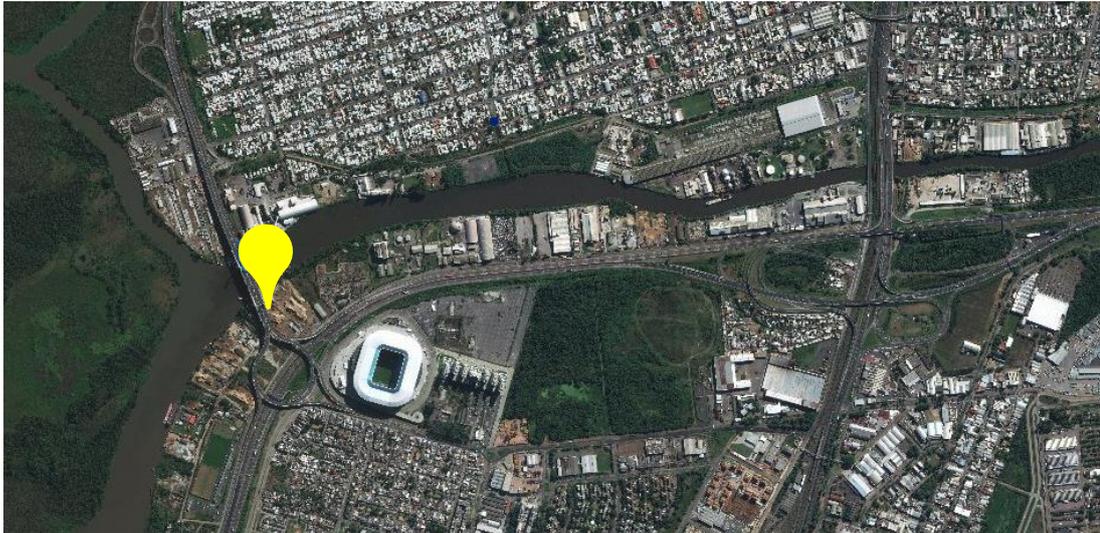
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das simulações descritas na metodologia, analisou-se o comportamento dos quatro parâmetros descritos também nos capítulos anteriores. Assim, avaliou-se a diferença entre os cenários que receberam diferentes cargas oxigênio, bem como a diferença na dispersão dos poluentes que foram lançados em diferentes pontos do corpo receptor para essa simulação.

Esse capítulo faz uma breve discussão sobre a calibração da simulação, a análise de sensibilidade da modelagem, bem como, sobre os resultados obtidos e sua relação com o enquadramento do Rio Gravataí.

### 5.1. CALIBRAÇÃO

Com a disponibilidade de dados medidos para a qualidade de água do Rio Gravataí e conforme a análise já realizada nesse trabalho do comportamento dos componentes aqui analisados, buscou-se fazer uma calibração simplificada para que a simulação representasse da forma mais fidedigna possível, dentro das limitações em que este trabalho propõe seu escopo, as condições naturais e atuais encontradas no rio analisado, quanto a sua qualidade. Assim, elegeu-se como base para a calibração, a estação *Foz do Rio Gravataí* da FEPAM, mais a jusante encontrada no Rio Gravataí que é apresentada na Figura 32 e Figura 33, que mostram, respectivamente, sua localização em imagens de satélites, retiradas da ferramenta Hidroweb e sua localização conforme consta no Plano de Bacia (2012).

Figura 32 - Localização em imagens de satélite da estação *Foz do Gravataí*

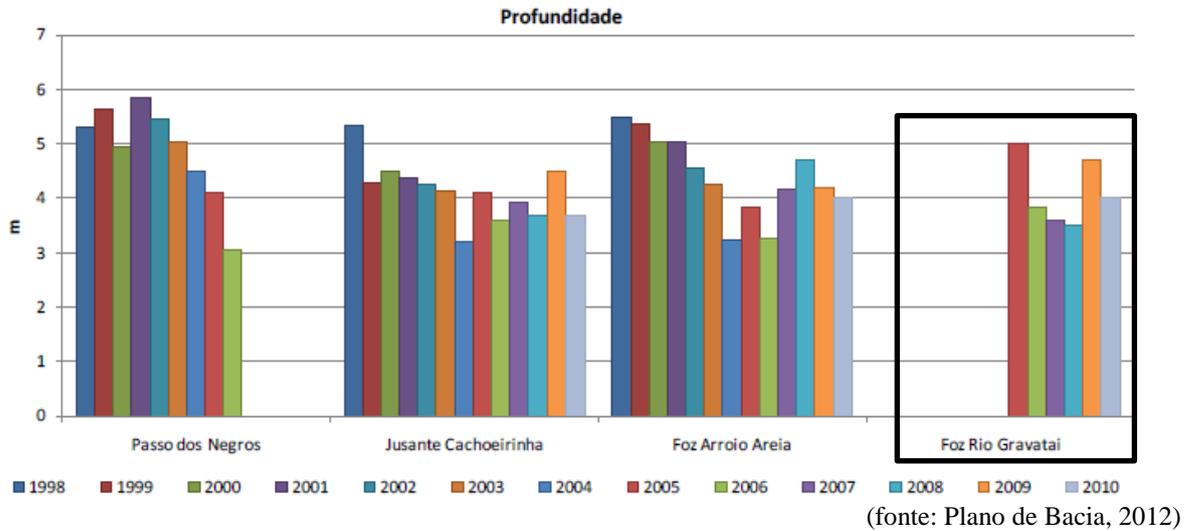
(fonte: Hidroweb)

Figura 33 - Localização Estação *Foz do Rio Gravataí*

(fonte: Plano de Bacia, 2012 - modificado pelo autor)

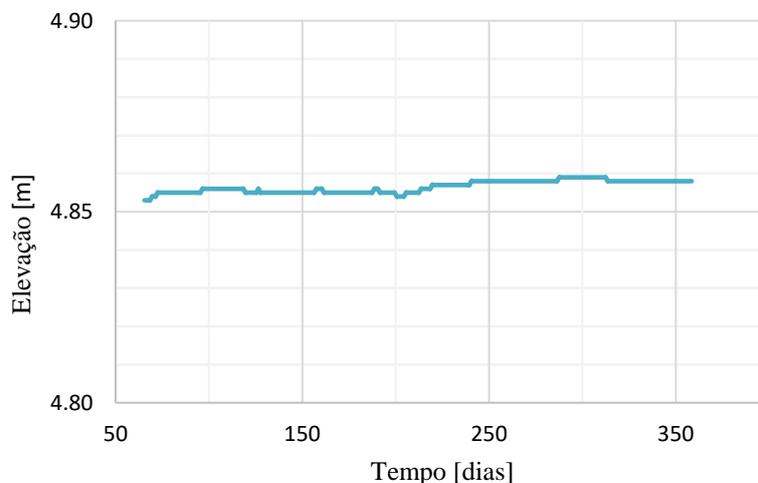
Primeiramente, após a inserção dos dados de entrada referentes a geometria do modelo, já relatados no capítulo de *Geometria e qualidade da água do Rio Gravataí simuladas*, buscou-se a adequação da elevação das superfícies de água, através dos arquivos de controle do modelo, principalmente da ativação dos comandos de balanço de água e volume. Assim, levando-se em conta a seguinte figura que apresenta a profundidade do rio, em diferentes estações de medição e anos, mas ainda mais especificamente, analisando-se a estação *Foz do Rio Gravataí*, apresentada em detalhe na Figura 34:

Figura 34 - Profundidade Rio Gravataí 1998 - 2010



Buscou-se que os dados apresentados pelo modelo fossem compatíveis com essa situação descrita pelo Plano de Bacia (2012). Assim, como pode-se comprovar na Figura 35, que traz os níveis de elevação da superfície de água retornados pela simulação, que a mesma se mostra coerente com os dados presentes no Plano de Bacia. Durante a simulação, as elevações permaneceram em torno de valores entre 4,85 e 4,9 m. Os dados observados na Figura 34, ratificam a boa estabilidade que a simulação retornou, ao passo que nas medições dos anos de 2005 a 2010, os níveis de água em média ficaram entre 3,5 e 6 metros, com valores em média, mais próximos de 4 metros.

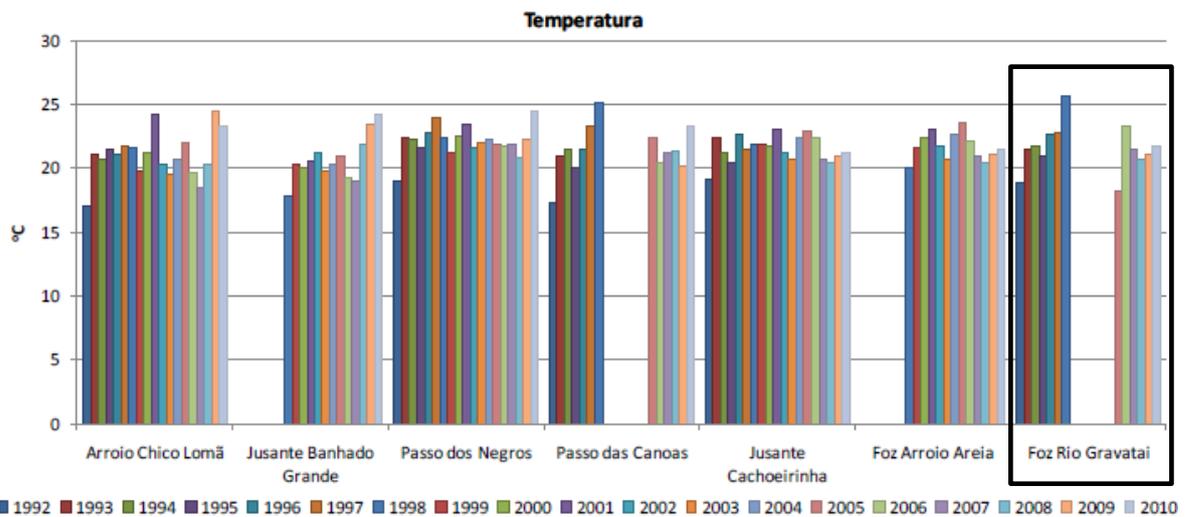
Figura 35 - Elevação da Superfície de Água na simulação



(fonte: Autor)

Também se fez a comparação das temperaturas resultantes da simulação, com os dados inseridos e os dados medidos pelo Plano de Bacia (2012). Desta forma, a seguinte Figura 36 mostra as temperaturas ocorridas na água do Rio Gravataí, na estação *Foz do Rio Gravataí*, ao longo dos anos, com medições não regulares desde o ano de 1992. Verifica-se que as temperaturas em média ficaram entre os valores de 15 e 25 °C. Com apenas um valor excedendo os 25°C no ano de 1998.

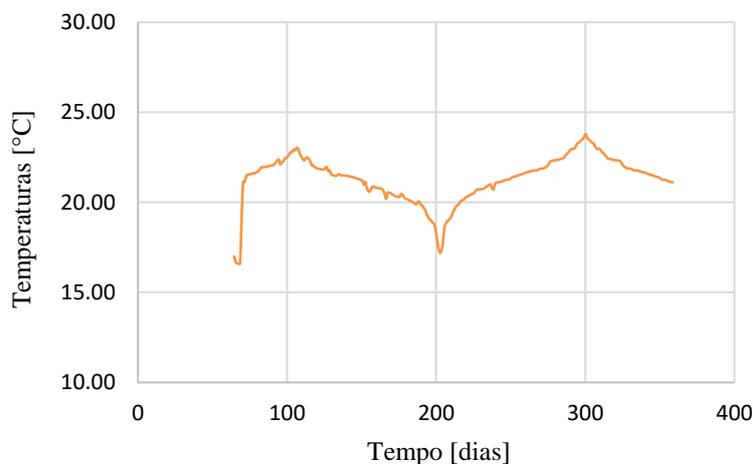
Figura 36 - Temperaturas Rio Gravataí 1992 - 2010



(fonte: Plano de Bacia, 2012)

Assim, apresenta-se a Figura 37 que mostra as temperaturas retornadas pela simulação. Nesta figura, nota-se que os valores simulados permanecem muito próximos dos valores inseridos relatados no capítulo anterior. E através da comparação com a Figura 36 descrita, comprovam a boa representatividade, em termos de temperatura, que a simulação obteve, mantendo suas temperaturas também entre os valores de 15 e 25°C.

Figura 37 - Temperaturas obtidas na simulação



(fonte: Autor)

Após esta etapa inicial, de adequação dos níveis de superfície de água e temperaturas, estabelecendo que a simulação estava bem consolidada em termos de geometria e condições iniciais, iniciou-se o processo iterativo para a calibração dos parâmetros de qualidade de água. Para isso, elegeu-se inserir condições de entrada para DBO, Fósforo, Nitrogênio e OD.

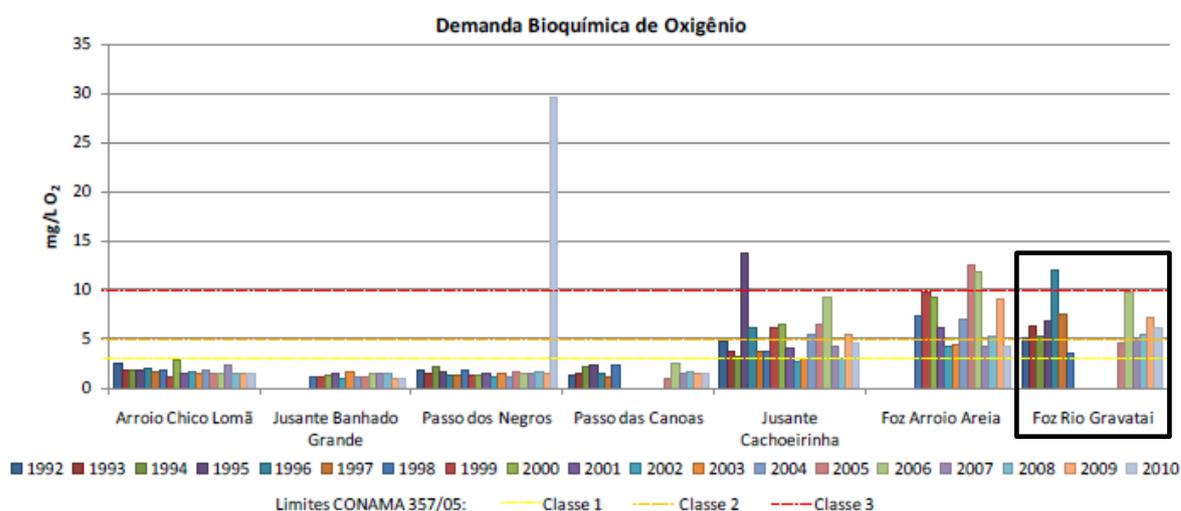
O processo iniciou-se com o estabelecimento dos critérios de adequação do modelo à qualidade existente. Buscou-se que após a inserção dos dados, a qualidade retornada pelo modelo no segmento 47, o segmento mais a jusante simulado, fosse compatível com os dados medidos na estação *Foz do Rio Gravataí*, já comentada aqui nesse capítulo, que apresenta localização compatível com o segmento 47.

Ressaltando-se que os valores medidos pela estação se referem a vazão de referência, a primeira medida, foi estabelecer uma relação para que se inserissem condições de contorno para as outras vazões compatíveis com esse dado disponível. Para isso, usou-se uma relação de ponderação para as outras vazões.

Na primeira tentativa, inseriu-se as cargas de poluentes nas entradas similares aos dados que buscava-se encontrar no último segmento. Notava-se que o resultado obtido era diferente do inserido, porque os parâmetros iam se desenvolvendo dentro do leito e este ia recuperando suas condições. Então, por iteração, inseriam-se dados mais severos de cargas de poluentes nas entradas, até que os dados percebidos no segmento de interesse estivessem de acordo com os da estação avaliada na mesma localidade.

Analisando o parâmetro de DBO, apresentado pelo Plano de Bacia (2012), para a estação em destaque na Figura 38, nota-se que nos últimos anos os valores de DBO, ficaram concentrados basicamente entre 5 e 10 mg/l de O<sub>2</sub>. Assim, com base no princípio que o valor mais coerente a ser utilizado seria o valor representante do último ano, pois há uma tendência que com o passar do tempo e a contínua urbanização, os parâmetros estejam piorando, buscou-se que para a vazão de referência – vazão média de 24,62 m<sup>3</sup>/s, no segmento 47, a simulação retornasse aproximadamente o valor de 6 mg/l, valor representante do ano de 2010, última medição, para a estação *Foz do Rio Gravataí*.

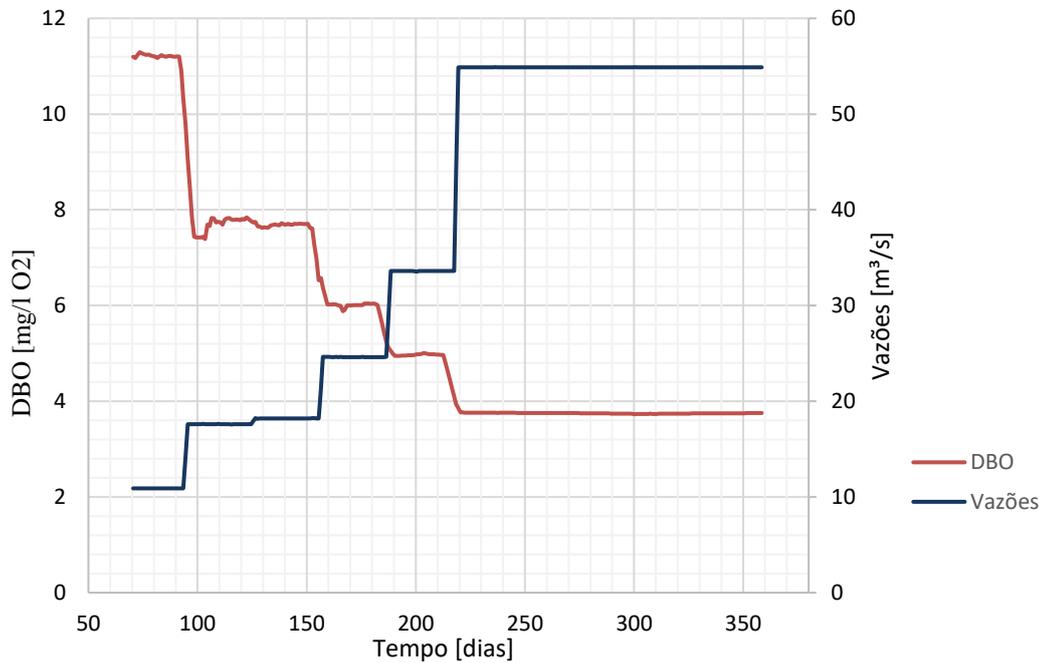
Figura 38 - DBO medida pelo Plano de Bacia 1992 - 2010



(fonte: Plano de Bacia, 2012)

Assim, através da Figura 39, pode-se concluir que a simulação se comportou bem, retornando para o valor de vazão de referência já citado (aproximadamente no tempo em torno do dia 170 de simulação), uma concentração de DBO de 6 mg/l, como o esperado nessa calibração. Cabe ressaltar que os outros valores de concentração, representam os valores correspondentes as outras vazões, que foram estimados de forma ponderada através da vazão de referência.

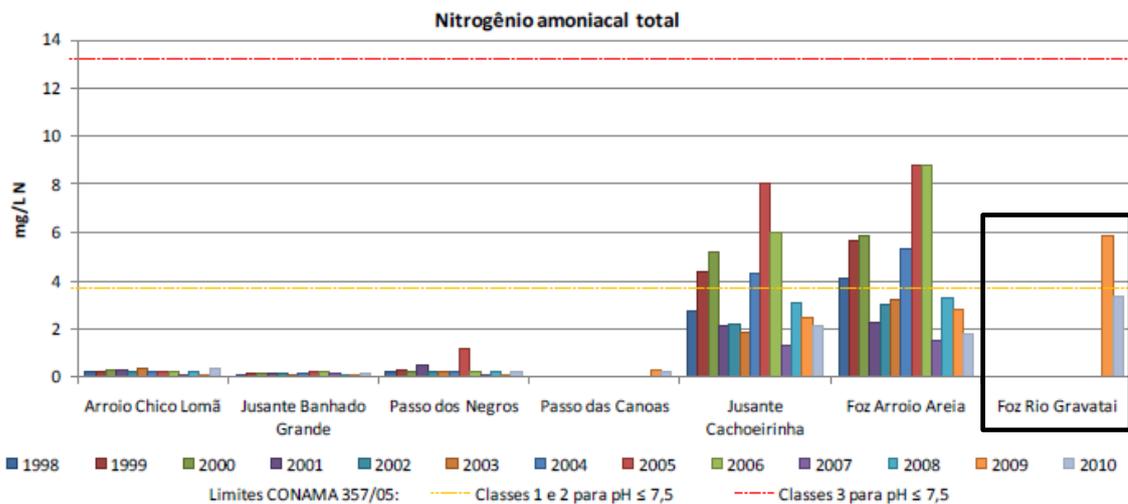
Figura 39 - Valores de DBO simulados



(fonte: Autor)

Continuando com o mesmo processo, analisou-se de forma semelhante os valores de Nitrogênio Amoniacal Total, apresentados pelo Plano de Bacia, como na Figura 40 a seguir. Pode-se notar que os valores de Nitrogênio foram significativos nos últimos dois anos medidos. Assim sendo, buscou-se que para a vazão de referência de 24,62 m³/s, a simulação retornasse no segmento 47 um valor aproximado entre 3 e 4 mg/L de N, como os valores apresentados, para o ano de 2010 na estação *Foz do Rio Gravataí*.

Figura 40 - Nitrogênio Amoniacal Total medido pelo Plano de Bacia 1998 - 2010

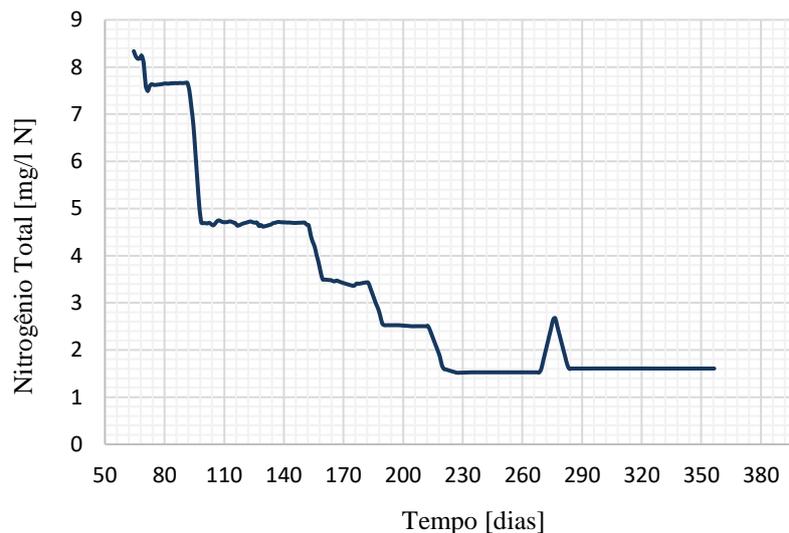


(fonte: Plano de Bacia, 2012)

Simulação do impacto do lançamento de efluentes da ETE Mato Grande utilizando o cenário: Rio Gravataí como corpo receptor

Novamente, analisando-se os valores de concentração em torno do dia 170, onde a vazão que percorre a simulação é a vazão média de referência, como apresentado na Figura 41, nota-se que as concentrações de Nitrogênio Total, ficaram em torno dos 3,5 mg/l de N, como o almejado nessa calibragem simplificada.

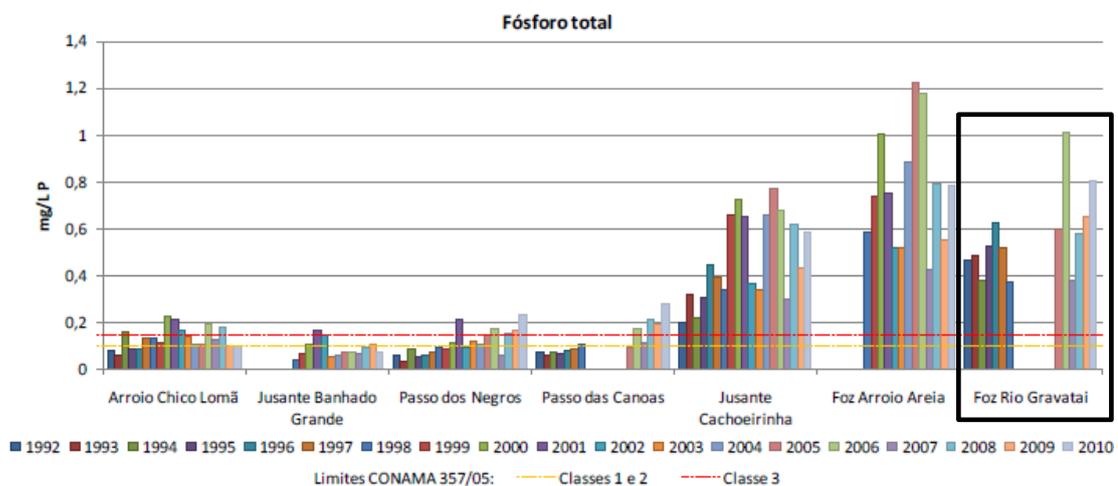
Figura 41 - Valores de Nitrogênio Total simulados



(fonte: Autor)

De forma também semelhante ao processo já descrito aqui para os parâmetros de DBO e Nitrogênio Total, procedeu-se o processo de calibragem para o parâmetro de Fósforo Total. Como apresentado na Figura 42, no ano de 2010, na estação *Foz do Rio Gravataí*, mediu-se uma concentração de Fósforo Total de 0,8 mg/l de P.

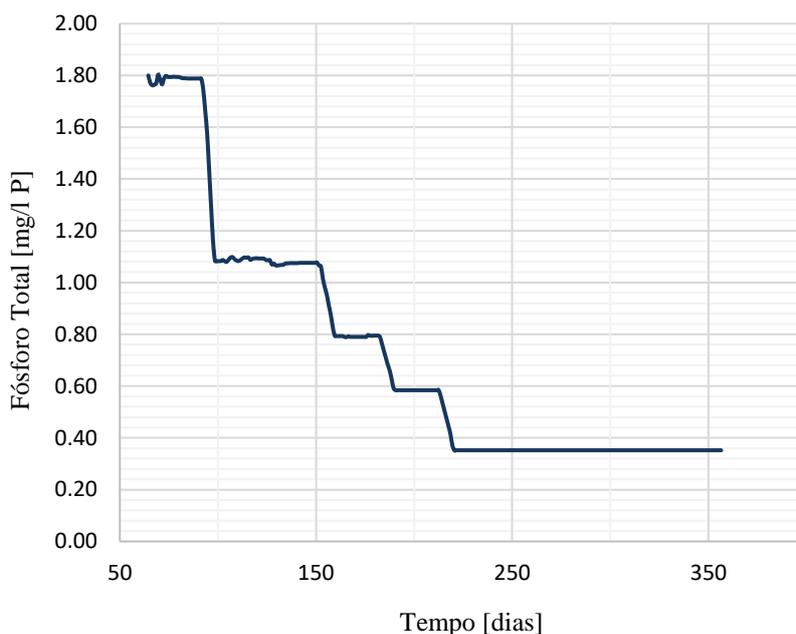
Figura 42 - Fósforo Total medido pelo Plano de Bacia 1992 - 2010



(fonte: Plano de Bacia, 2012)

Como ratifica-se novamente, a simulação retornou o valor de 0,8 mg/l de P, como especificações já descritas aqui, para a vazão de referência média, vazão para qual a concentração medida e apresentada no Plano foi calculada. Pode-se observar este fato na seguinte Figura 43, a qual, também para o entorno do dia 170, onde a simulação apresenta a vazão média, o programa retornou o valor esperado para sua calibragem, 0,8 mg/l de P.

Figura 43 - Valores de Fósforo Total simulados



(fonte: Autor)

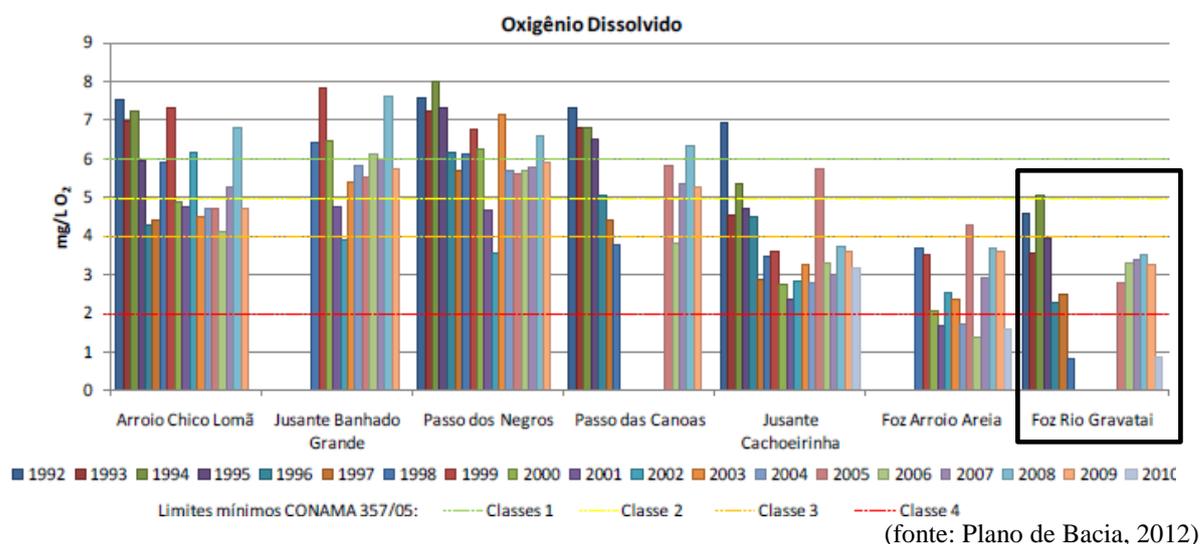
Cabe ressaltar que o Fósforo Total, foi o parâmetro que mais apresentou estabilidade na simulação, como observado na Figura 43.

Por fim, realizou-se de forma bastante aproximada a calibragem do parâmetro de Oxigênio Dissolvido. Este parâmetro, por depender de vários processos complexos para sua determinação, tem sua calibragem também como um processo bastante complexo. Cabe ainda ressaltar, que ao contrário dos outros três parâmetros, que tem seus efeitos negativos proporcionais ao aumento de sua concentração, para o oxigênio dissolvido, esse fenômeno acontece de maneira inversa. Sendo assim, as situações mais críticas ocorrem para as menores concentrações do parâmetro, até sua nulidade.

Na Figura 44, retirada do Plano de Bacia (2012), pode-se observar que para o ano de 2010, última medição presente, a condição de oxigênio dissolvido na estação em destaque na figura,

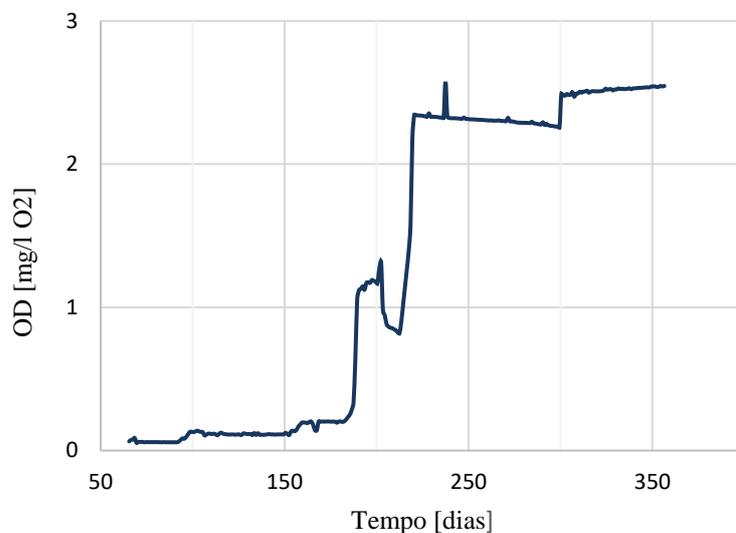
chegava a apenas 0,87 mg/l de O<sub>2</sub>. Isto pode-se explicar pela qualidade ruim apresentada na foz do rio, que ao longo de seu percurso recebe cargas de esgoto que acabam utilizando o oxigênio dissolvido originalmente presente na água.

Figura 44 - Oxigênio Dissolvido medido pelo Plano de Bacia 1992 - 2010



Assim, finalmente apresenta-se na Figura 45 os resultados retornados na simulação para o parâmetro de Oxigênio Dissolvido. Nota-se que para vazões mais baixas, este parâmetro apresentou concentrações muito baixas. Também se nota que durante a passagem da vazão média de projeto, a concentração permaneceu entre valores de 0 e 1 mg/l de O<sub>2</sub>. Assim, corroborando as medições realizadas na *Foz do Rio Gravataí*, que apresentarem para o ano de 2010 uma concentração de 0,87 mg/l de O<sub>2</sub>. Ressalta-se novamente o motivo da escolha de utilizar apenas a última medição elencada pelo Plano de Bacia (2012) afim de que os resultados sejam coerentes com a tendência atual de diminuição do parâmetro de oxigênio dissolvido. Também, pode-se dizer ainda que o oxigênio simulado é o parâmetro com menos estabilidade que o programa retornou, visto que, como já relatado anteriormente o mesmo tem sua modelagem bastante mais complexa que os outros parâmetros analisados.

Figura 45 - Valores de Oxigênio Dissolvido simulados



(fonte: Autor)

Apresenta-se na Figura 46, de forma numérica o que já foi relatado e observado nas figuras anteriores. Assim, pode-se observar através das intersecções das marcações (quadros amarelos e quadro vermelho), os valores que foram utilizados nesta calibração simplificada. Esta tabela, produzida pelo Plano de Bacia (2012), também traz a classificação dos parâmetros quanto ao seu enquadramento nas classes de qualidade de água, através de uma legenda de cores.

Ressalta-se que na calibração não foram adicionadas as cargas de esgoto que pretendem ser simuladas nesse trabalho.

Figura 46 - Dados medidos na estação Foz do Rio Gravataí (1992 - 2010)

Parâmetros	Unidades	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Cádmio	mg/L Cd	0	0,001	0	0							0	0	0
Chumbo	mg/L Pb	0	0,006	0,01	0,015	0,012	0,02	0,014					0	0,003
Cloreto	mg/L Cl								9,7	30,88	13,9	14,74	17,04	13,25
Cobre	mg/L Cu	0,005	0,012	0,003	0,003	0,001	0,003	0,005	0,005	0,007	0,013	0	0	0,001
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	53,14	77,91	63,17	68,13	212,5	248,33	140						132000
Condutividade elétrica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	104,13	133,25	114,83	134,3	182,57	131,63	119,5	154	319,33	125,03	193,64	226,03	161,44
Cromo	mg/L Cr	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01			0
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	4,98	6,33	5,25	6,71	12	7,44	3,5	4,67	9,75	5,17	5,4	7,2	6
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	75,38	38,83	33,42	31,13	41,67	44,33	33,5	42	61,96	59,67	35	40,8	33,33
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml								19200	5633,75	64280	102500	13740	104000
Fósforo total	mg/L P	0,47	0,49	0,38	0,53	0,62	0,52	0,37	0,6	1,01	0,38	0,58	0,65	0,8
Mercúrio	mg/L Hg	0,0613	0,0068	0,0092	0	0,0155	0	0,0148			0,0733	0	0	0
Níquel	mg/L Ni	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0				0,003	0	0
Nitrogênio amoniacal total	mg/L N												5,9	3,32
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L		4,28	4,87	4,91	5,36	5,77	5,17	4,68	10,67	2,92		11	
Ortofosfato	mg/L PO <sub>4</sub>								0,24				0,46	0,27
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	4,59	3,54	5,05	3,95	2,3	2,49	0,83	2,77	3,32	3,37	3,53	3,25	0,87
pH		6,31	6,51	6,43	6,78	6,55	6,37	5,63	6,67	7,25	6,74	6,7	6,57	6,10
Profundidade	m								5	3,83	3,58	3,5	4,7	4
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	131,86	121,18	121,92	130,25	123,83	148,33	115,25	160,33	225,67	201,5	149	129,4	123,67
Temperatura	°C	18,81	21,55	21,75	20,88	22,63	22,8	25,75	18,3	23,32	21,47	20,74	21,1	21,77
Transparência	m	0,25	0,28	0,31	0,29	0,26	0,29	0,29	0,23	0,22	0,25	0,2	0,26	0,27
Turbidez	UNT		18,64	17,82	16,86	45,27	57,11	52,5	78,5	68,4	69,25	71,2	49	
Zinco	mg/L Zn	0,03	0,03						0,05	0,03	0,13	0,09	0,16	0,01
Legenda	Classe 1													
	Classe 2													
	Classe 3													
	Classe 4													
	Fora de Classe													

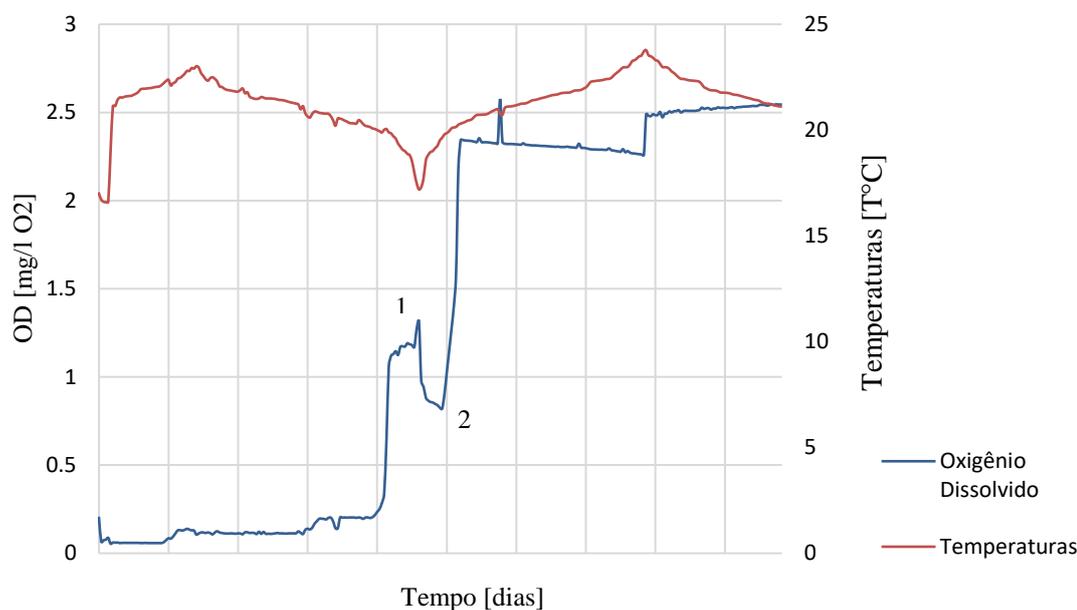
(fonte: Plano de Bacia, 2012 – modificado pelo autor)

## 5.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Associada ao processo simplificado de calibração do modelo, optou-se por realizar uma também simples análise de sensibilidade dos parâmetros simulados com a variação de temperatura imposta pela série de dados inserida. Assim, através dos resultados das simulações de calibração, utilizou-se como método, a identificação visual dos parâmetros que possuíam algum comportamento diferente do esperado, que poderia ser relacionado com o aumento ou diminuição da temperatura.

Sendo assim, para os resultados obtidos na calibração do Oxigênio Dissolvido, observou-se que na seção intermediária da simulação, onde as temperaturas caem até seus menores valores, as taxas de OD variaram significativamente (em relação a escala que está sendo utilizada). Na Figura 47, pode-se observar esse comportamento da série de OD (linha azul) em relação à série de temperaturas (linha vermelha).

Figura 47 – Comparação: simulação de OD e série de temperaturas

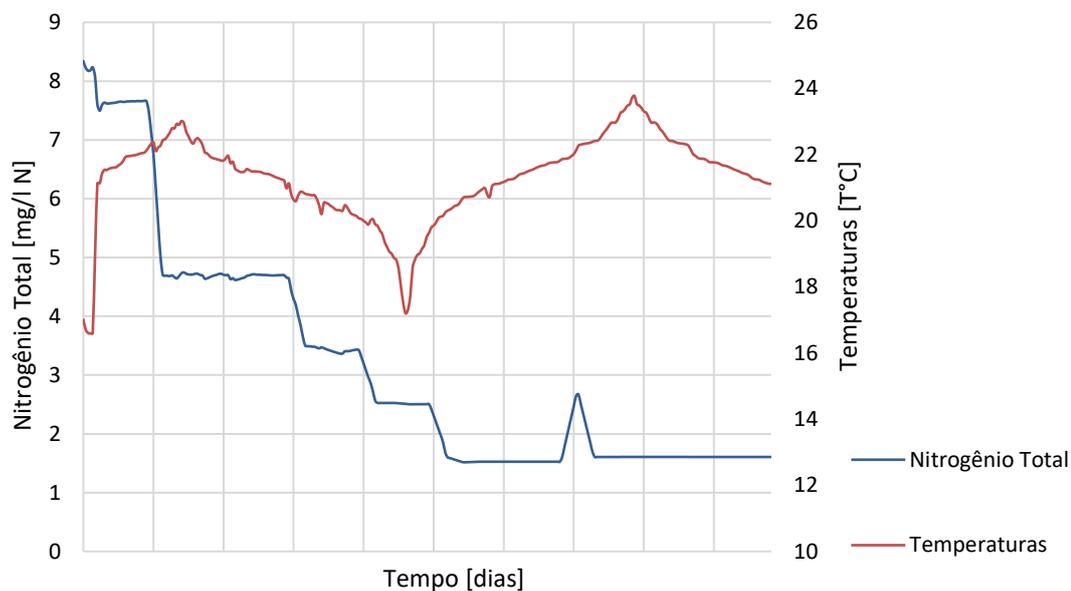


(fonte: Autor)

Salienta-se que os gases possuem maior solubilidade com a diminuição da temperatura. Assim, pode-se notar que enquanto a temperatura está decaindo, até atingir um mínimo no tempo intermediário de simulação, a concentração de oxigênio eleva-se até um máximo relativo indicado pelo número 1 na Figura 47. Então, quando a série de temperaturas, volta a ser crescente, ou seja, a aumentar as temperaturas, a concentração de oxigênio tem uma queda, indicada pelo número 2 na Figura 47.

Outro parâmetro que se mostrou sensível as alterações de temperatura foi o Nitrogênio Total simulado. Na Figura 48 pode-se notar a elevação brusca do parâmetro analisado, no período em que a simulação está recebendo sua maior vazão de entrada e a maioria dos processos já estão estabilizados. Assim, pode-se correlacionar esse aumento da concentração, com o aumento da temperatura que acontece nesse período, apenas com seu pico um pouco defasado. Essa sensibilidade de acordo com a temperatura está coerente ao passo que Kee, Lim e Keeler (2006) afirmam que os processos relacionados ao elemento nitrogênio, são proporcionais a temperatura da água.

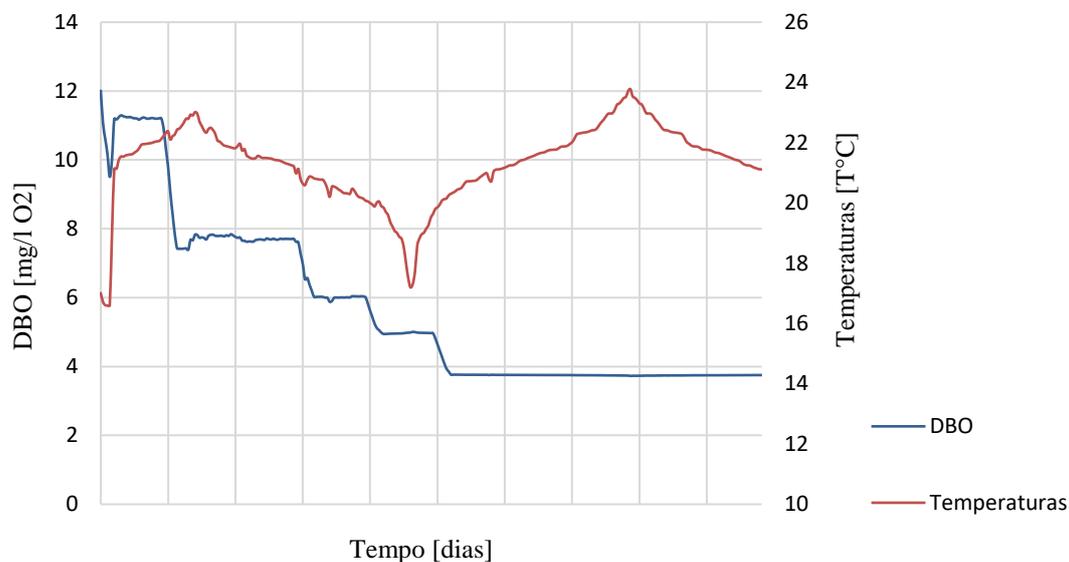
Figura 48 - Comparação: simulação de Nitrogênio Total e série de temperaturas



(fonte: Autor)

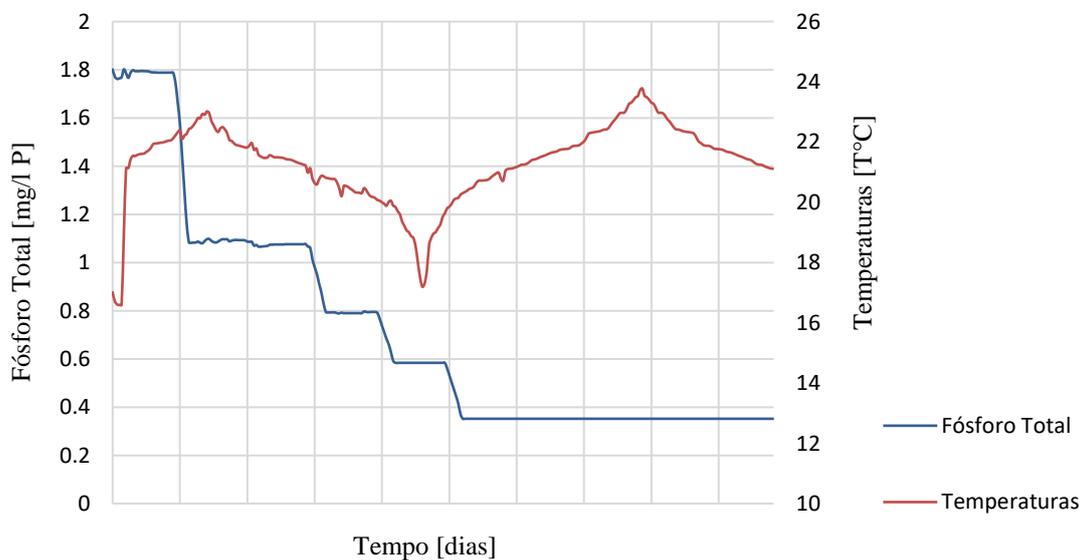
Finalmente, observou-se ainda que os parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio e o Fósforo Total não apresentaram sensibilidade significativa com as alterações na temperatura, pelo menos não apresentaram alterações visuais que pudessem ser relacionadas, na escala que estão sendo observados. Pode-se notar esta devida estabilidade na Figura 49 e Figura 50 que representam respectivamente as simulações de DBO e Fósforo Total em comparação com a série de temperaturas simuladas.

Figura 49 - Comparação: simulação de DBO e série de temperaturas



(fonte: Autor)

Figura 50 - Comparação: simulação Fósforo Total e série de temperaturas



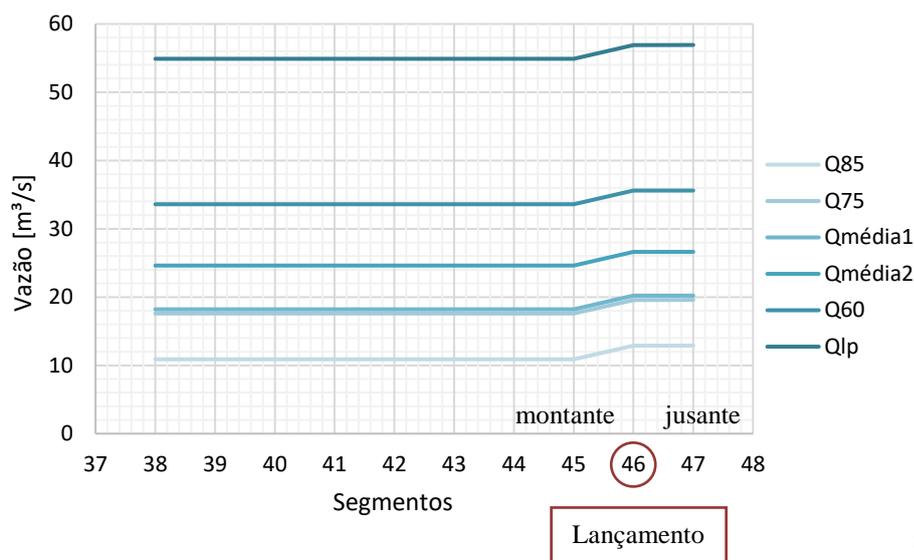
(fonte: Autor)

Cabe ainda dizer-se que o Fósforo se mostra como o parâmetro que menos sensibilidade teve com as alterações de temperatura, entre os quatro parâmetros simulados.

### 5.3. RESULTADOS - PONTO A: CENÁRIOS 1 E 2

Para os cenários 1 e 2, localizados no ponto A obteve-se a série apresentada na Figura 51 a seguir, para as vazões simuladas.

Figura 51 - Simulação: Vazões - Cenários 1 e 2

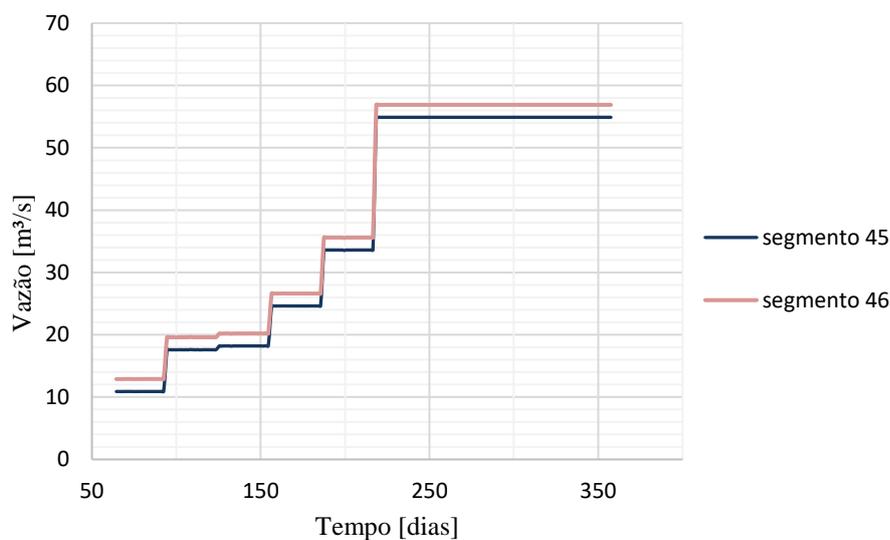


(fonte: Autor)

Cabe ressaltar que o gráfico representa o perfil longitudinal da série, avaliado nos segmentos finais. Também se pode notar um aumento na vazão nos últimos dois segmentos da ordem de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , que representa a entrada do efluente simulado.

Na Figura 52, representa-se a vazão pelo tempo, nos segmentos 45 e 46, que representam respectivamente, o segmento anterior ao recebimento de esgoto e o segmento no qual o esgoto é inserido. Pode-se notar novamente a defasagem de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Figura 52 - Simulação: Vazões - Cenários 1 e 2 (segmentos 45 e 46)



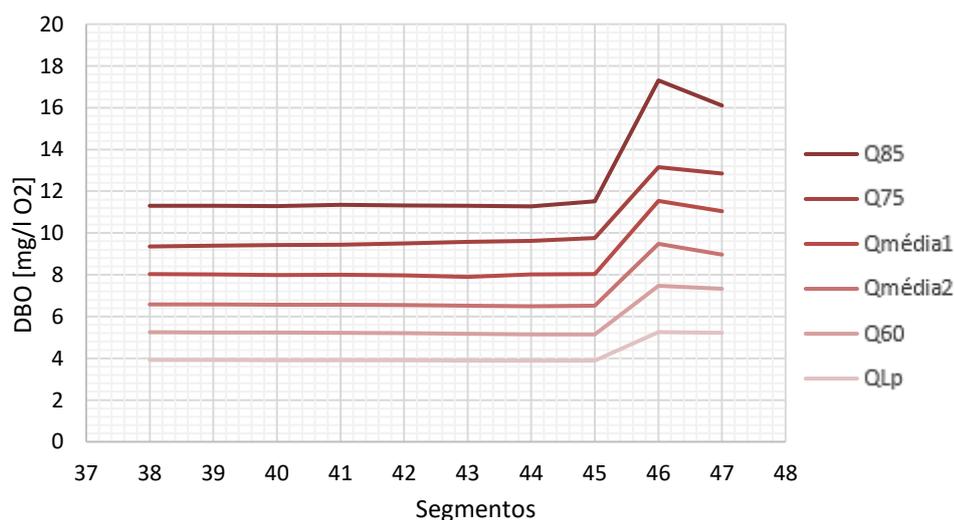
(fonte: Autor)

### 5.3.1. Cenário 1

#### *Demanda Bioquímica de Oxigênio*

A simulação da Demanda Bioquímica de Oxigênio para o cenário 1, apresentou os resultados elencados na Figura 53 a seguir.

Figura 53 - Simulação: DBO - Cenário 1



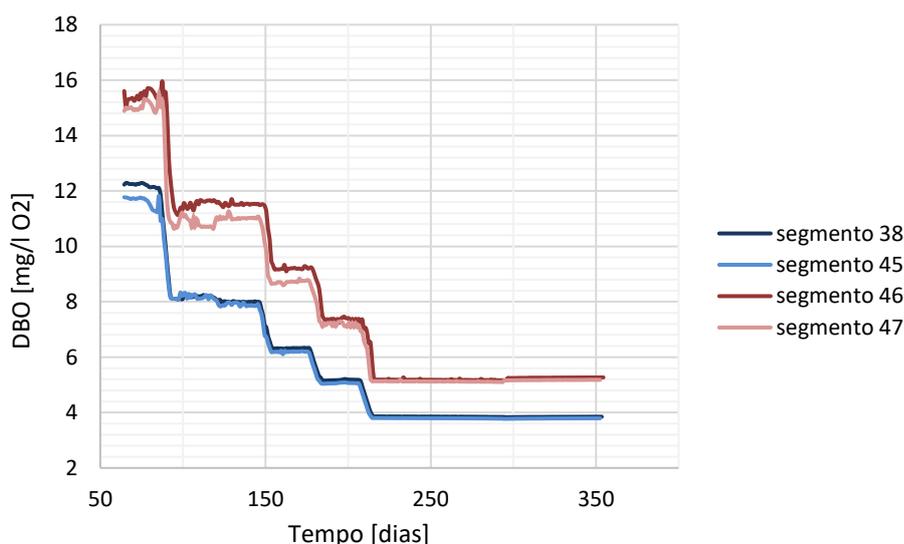
(fonte: Autor)

Observa-se um aumento da concentração de DBO, nos segmentos em que o corpo receptor recebe a carga de esgoto, que pode ser visualizado nos últimos dois segmentos da simulação.

Pode-se notar ainda, que o efeito desse efluente é mais significativo para eventos de menor vazão. Como analisa-se que para o acionamento do by-pass da ETE, seria necessário eventos de chuva mais pronunciados, isso levaria a uma passagem de cheia também no corpo receptor, portanto, este estaria com maior vazão. Assim, pode-se dizer que para eventos de maior vazão do corpo receptor, a inserção das cargas dos efluentes tem um efeito não tão pronunciado.

Na Figura 54, observa-se a concentração de DBO nos segmentos 38, 45, 46 e 47. O segmento 38 e o segmento 45 representam segmentos a montante do lançamento e possuem uma série de concentrações muito parecidas. O segmento 46 recebe o efluente e, portanto, tem sua série de concentrações maior que as dos segmentos a montante. Já no segmento 47, depois do despejo, nota-se uma pequena recuperação do corpo de água, que tem sua concentração de DBO diminuída.

Figura 54 - Simulação: DBO - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47)



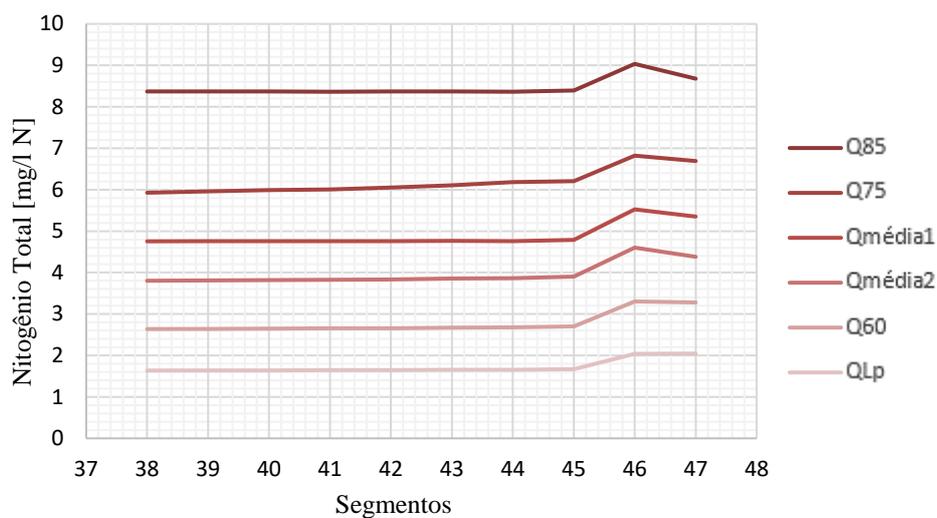
(fonte: Autor)

Também pode-se notar, como relatado na figura anterior, que o efeito da inserção nos tempos de simulação representantes das vazões mais baixas tem maior incremento de concentração, o que pode-se notar no gráfico, pela defasagem das curvas, que é maior para os tempos iniciais, do que no tempo final, onde a vazão é a máxima simulada.

### *Nitrogênio Total*

A seguir apresentam-se na Figura 55 os resultados simulados para o Nitrogênio Total no cenário 1.

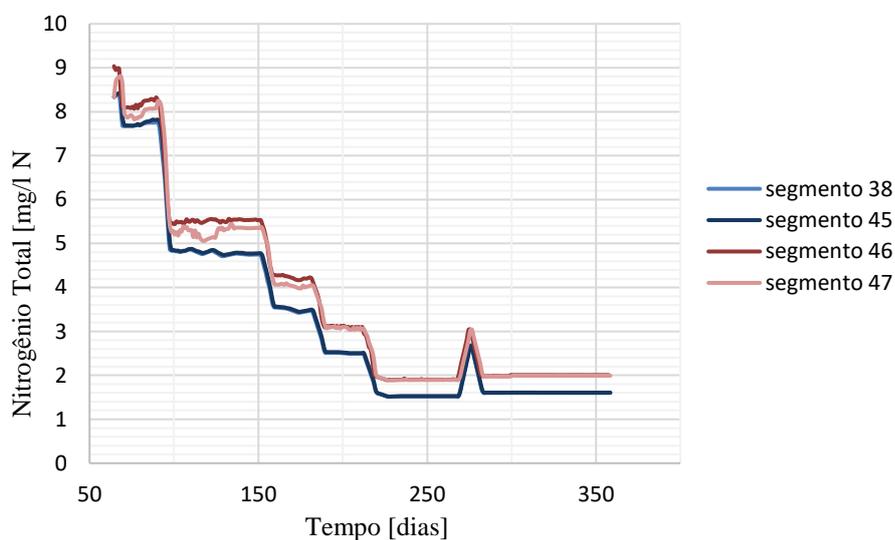
Figura 55 - Simulação: NT - Cenário 1



(fonte: Autor)

Pode-se observar na figura o mesmo efeito do lançamento da DBO no rio. Para as maiores vazões, nota-se um menor incremento de concentração, ou seja, uma elevação da concentração menos pronunciada. Na Figura 56, como na DBO, observa-se um incremento de concentrações a jusante do despejo do efluente que é mais pronunciado nas vazões menores, porém, para o Nitrogênio, esse efeito não é tão pronunciado quanto na DBO.

Figura 56 - Simulação: NT - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47)

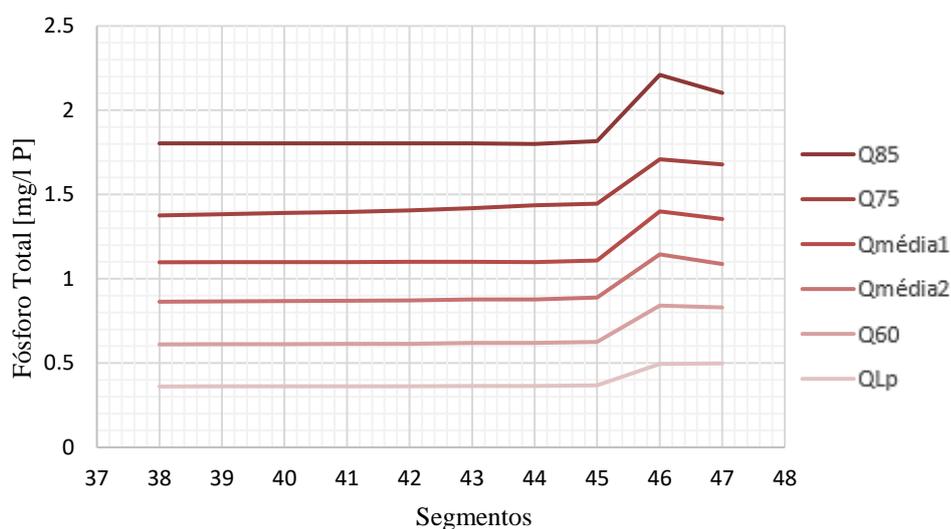


(fonte: Autor)

### Fósforo Total

A seguir apresentam-se na Figura 57 os resultados simulados para o Fósforo Total no cenário 1.

Figura 57 - Simulação: PT - Cenário 1

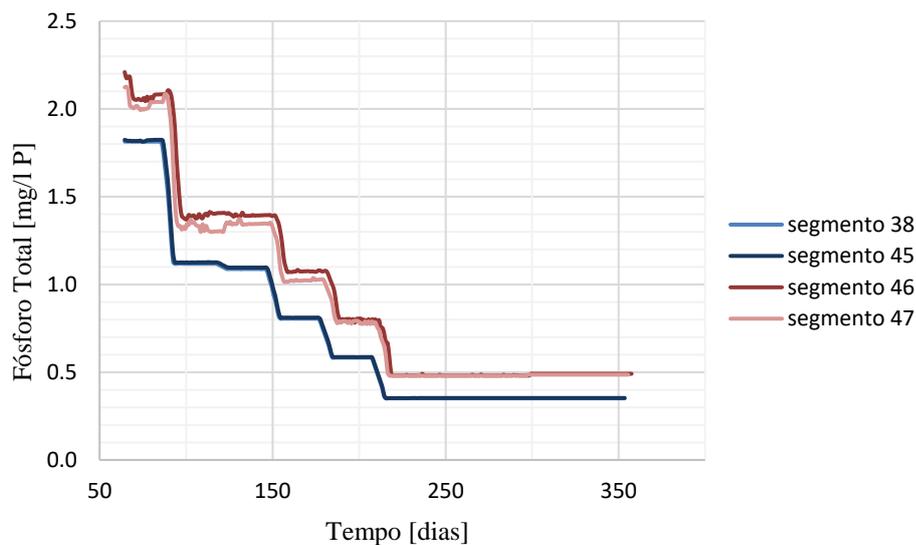


(fonte: Autor)

Os resultados representados na Figura 57, assemelham-se aos já descritos aqui para os parâmetros anteriores. Onde as concentrações aumentam, após a inserção do esgoto.

Para a Figura 58, novamente nota-se o incremento de concentrações após a inserção do efluente na simulação. Porém, um fato um pouco diferente dos outros parâmetros, é que nesse caso, o segmento 47, último simulado e o segundo depois da entrada do esgoto, mostrou uma recuperação muito pouco pronunciada das suas condições, principalmente no evento de maior vazão, onde a série de concentração para o segmento 46 é praticamente concomitante com a série pertencente ao segmento 47.

Figura 58 - Simulação: PT - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47)

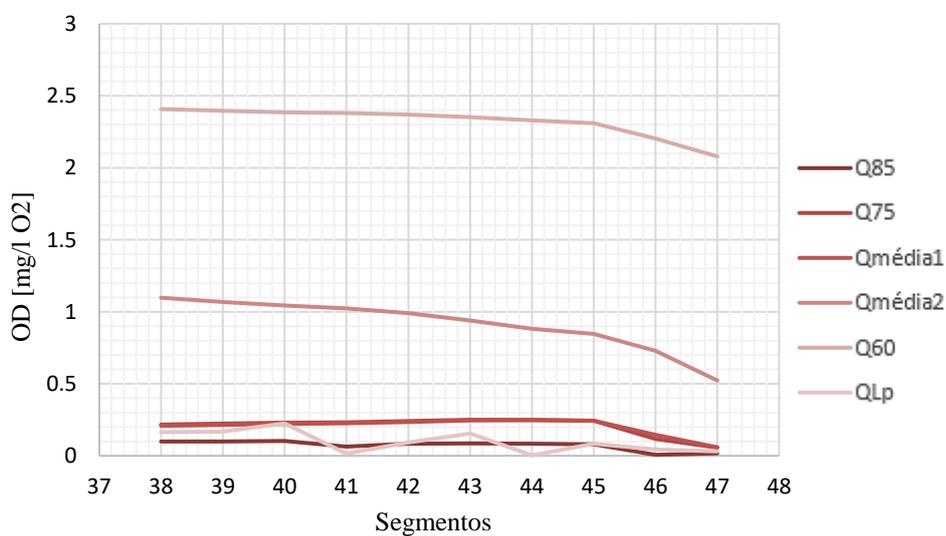


(fonte: Autor)

### Oxigênio Dissolvido

A seguir apresentam-se na Figura 59 os resultados simulados para o oxigênio dissolvido no cenário 1.

Figura 59 - Simulação: OD - Cenário 1



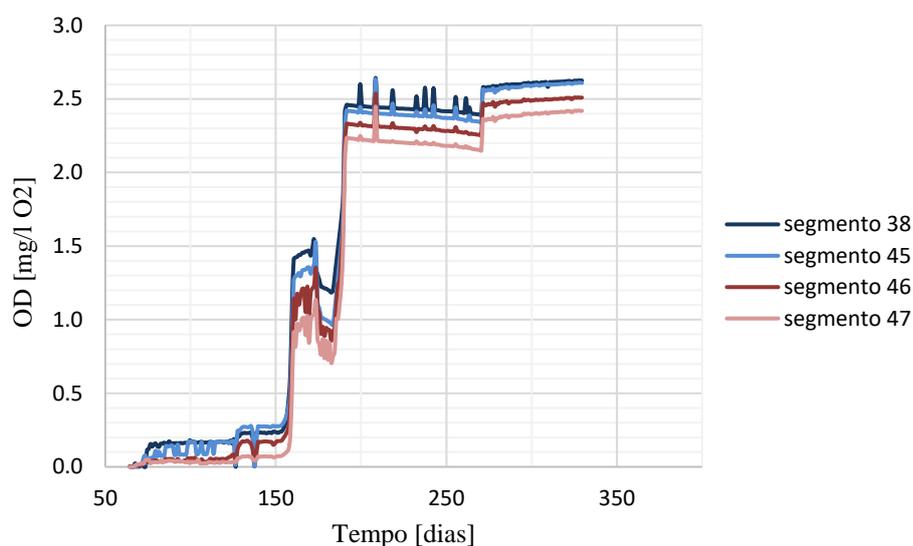
(fonte: Autor)

Para o parâmetro de oxigênio dissolvido, tem-se uma interpretação inversa dos parâmetros anteriores, já que para este, a piora das condições acontece com a diminuição de sua concentração. Assim, na Figura 59, pode-se notar que para as baixas vazões (correspondentes

as linhas mais escuras), a inserção do efluente não tem muitas consequências, já que os níveis de oxigênio antes do deságuas, já estão muito baixos e próximos da nulidade. Quando se observa o efeito provocado nas vazões maiores, pode-se notar um decréscimo significativo de concentração.

Na Figura 60, onde se observa a concentração de OD nos diferentes segmentos, pode-se notar que a concentração nos segmentos a montante do despejo, tem concentrações parecidas, enquanto, após a inserção do efluente, observa-se um decréscimo da concentração. Diferente dos outros parâmetros analisados, pode-se notar aqui, que o segmento 47, continua diminuindo suas concentrações de oxigênio, ou seja, o corpo de água, demora mais para das início a recuperação de suas condições.

Figura 60 - Simulação: OD - Cenário 1 (segmentos 38/45/46/47)



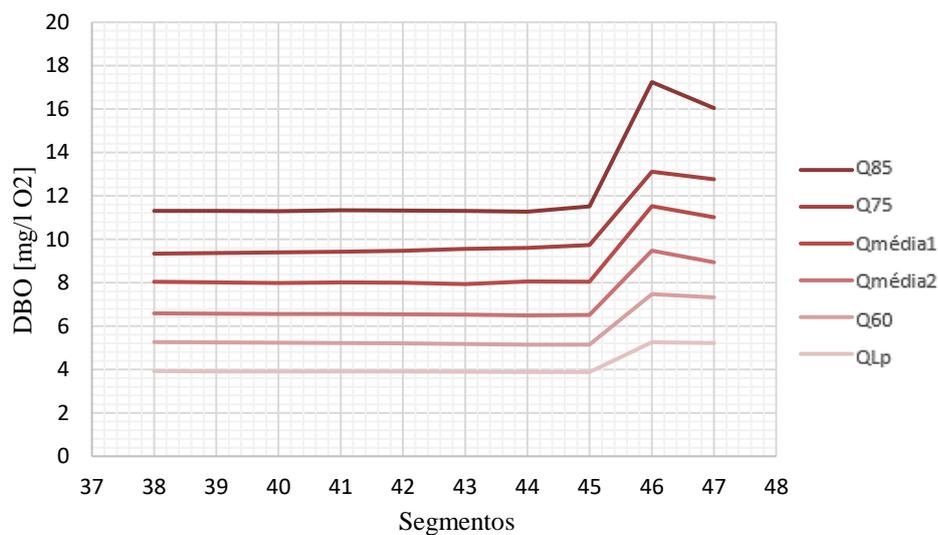
(fonte: Autor)

### 5.3.2. Cenário 2

#### *Demanda Bioquímica de Oxigênio*

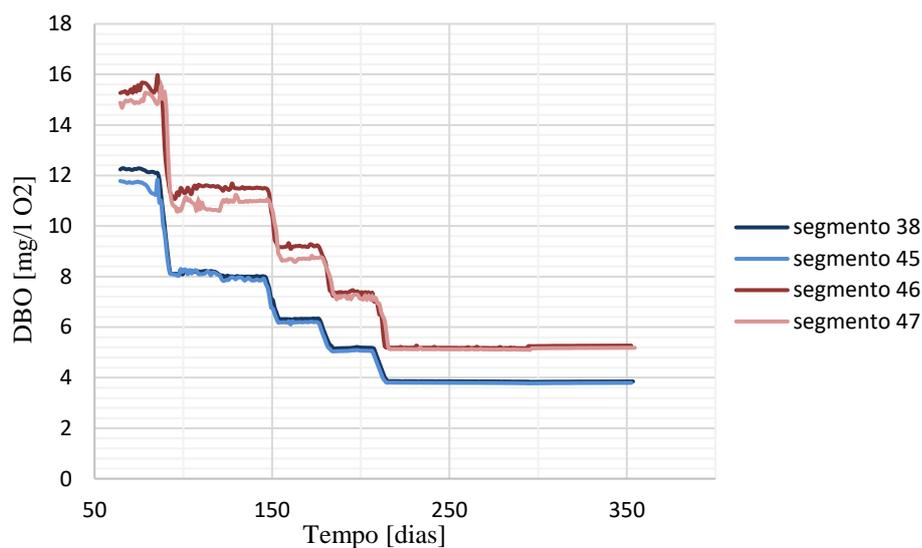
No cenário 2, utilizando-se do mesmo ponto de descarga do efluente, variou-se apenas a concentração de Oxigênio no efluente, aumentando-se de 0 para 1 mg/l de O<sub>2</sub>. Pode-se notar que para o parâmetro de DBO, os resultados obtidos para os cenários 1 e 2, foram praticamente idênticos, como pode ser observado na Figura 61 e Figura 62 a seguir.

Figura 61 - Simulação: DBO - Cenário 2



(fonte: Autor)

Figura 62 - Simulação: DBO - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47)

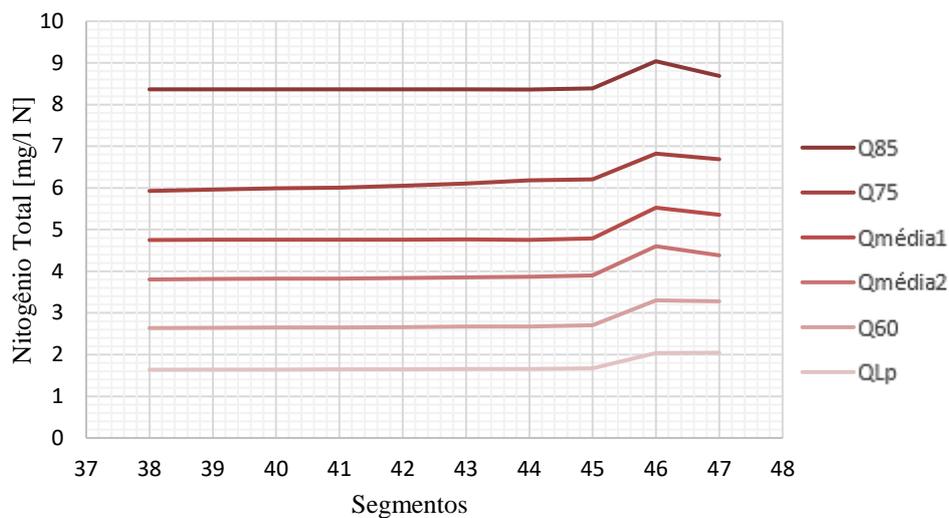


(fonte: Autor)

### Nitrogênio Total

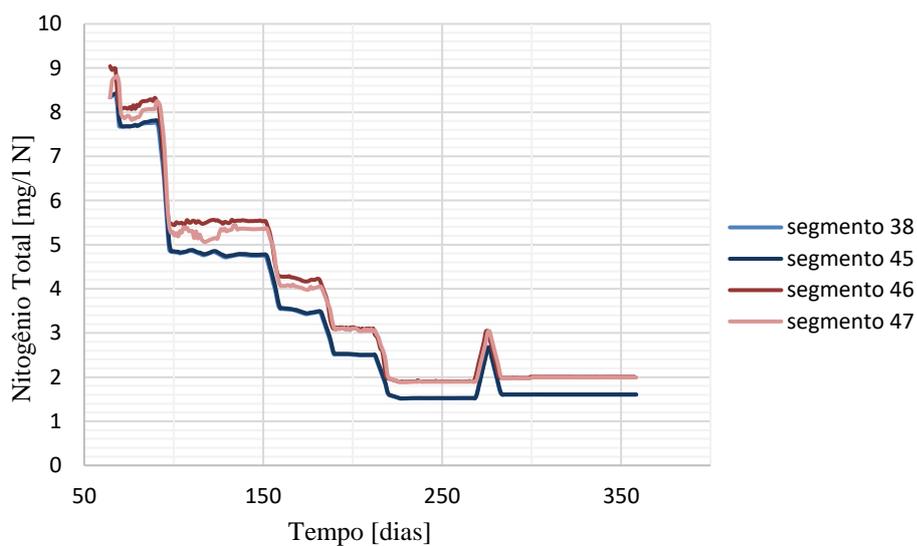
O mesmo acontece para o parâmetro de Nitrogênio Total, cujos resultados das simulações para este cenário são apresentados na Figura 63 e Figura 64 a seguir.

Figura 63- Simulação: NT - Cenário 2



(fonte: Autor)

Figura 64 - Simulação: NT - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47)

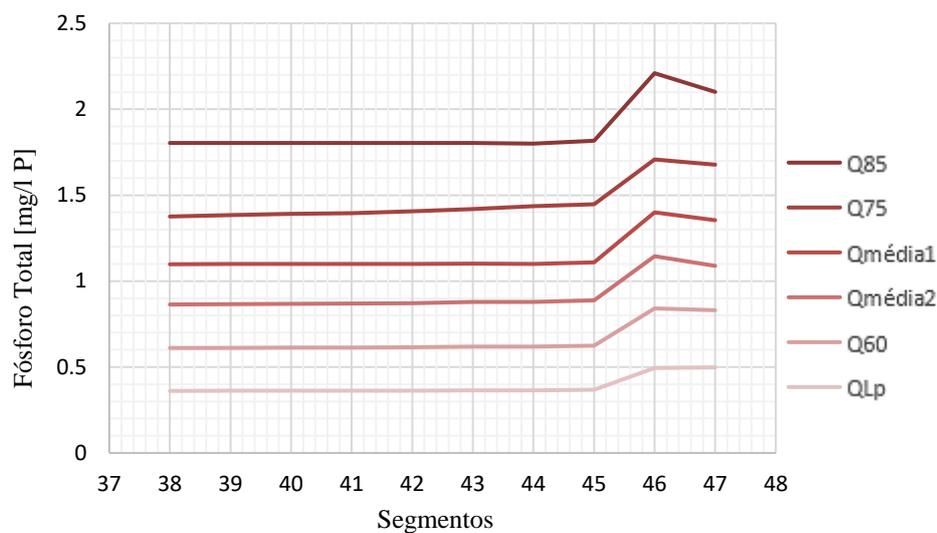


(fonte: Autor)

### *Fósforo Total*

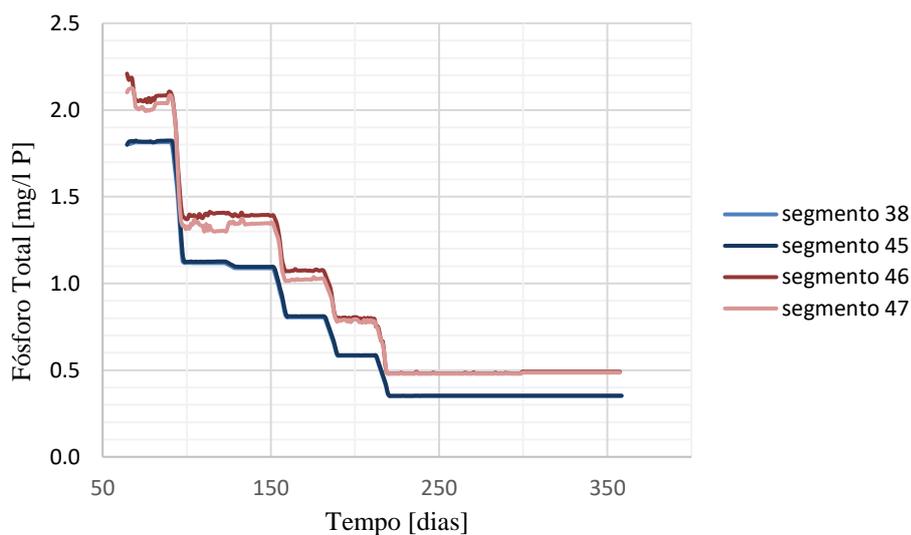
Novamente, esta condição se repete para o parâmetro de Fósforo Total, que tem em seus resultados apresentados na Figura 67 e Figura 68, valores muito parecidos com os simulados no primeiro cenário.

Figura 65 - Simulação: PT - Cenário 2



(fonte: Autor)

Figura 66 - Simulação: PT - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47)



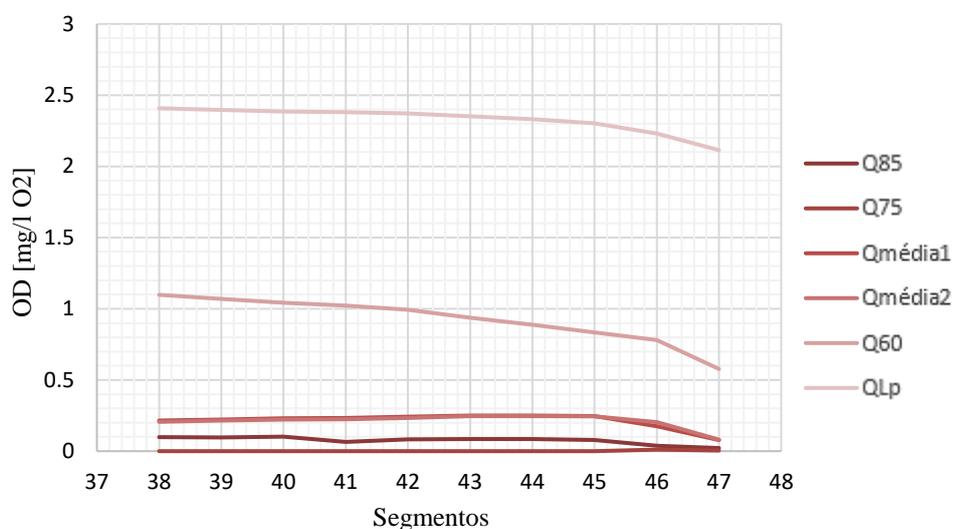
(fonte: Autor)

Estes resultados, para os três parâmetros analisados até aqui, podem indicar que o Oxigênio Dissolvido, nas condições da simulação, não tem uma influência tão significativa para estes parâmetros, ou ainda, que a concentração de 1 mg/l, a mais do que no cenário anterior, também é pouco significativa para modificar os processos que ocorrem.

### Oxigênio Dissolvido

Para o parâmetro de Oxigênio Dissolvido, o qual esperava-se o maior impacto da mudança na concentração deste mesmo parâmetro no efluente lançado, também não se pode notar influências significativas. Como pode ser observado na Figura 67, de forma clara, só pode-se notar um aumento no último segmento, para a vazão longo período que possui valor um pouco maior do que na simulação anterior.

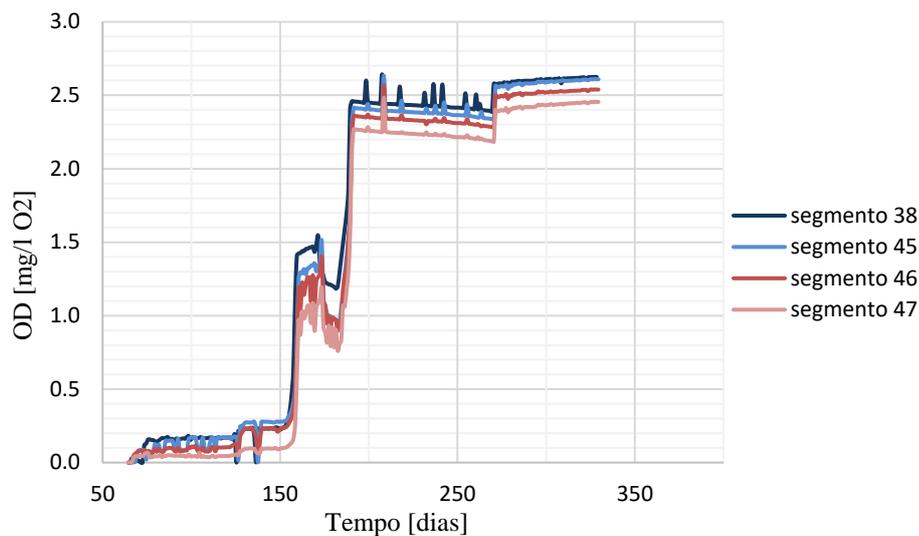
Figura 67 - Simulação: OD - Cenário 2



(fonte: Autor)

Já na Figura 68, pouco pode se notar que difira essa simulação da anterior realizada. Isso, como já comentado, pode-se dar por um aumento da concentração de oxigênio muito pequeno para que pudesse influenciar os resultados de forma mais clara. Ou ainda, que essa mudança não é tão eficaz, ou tem impacto significativo nos processos.

Figura 68 - Simulação: OD - Cenário 2 (segmentos 38/45/46/47)

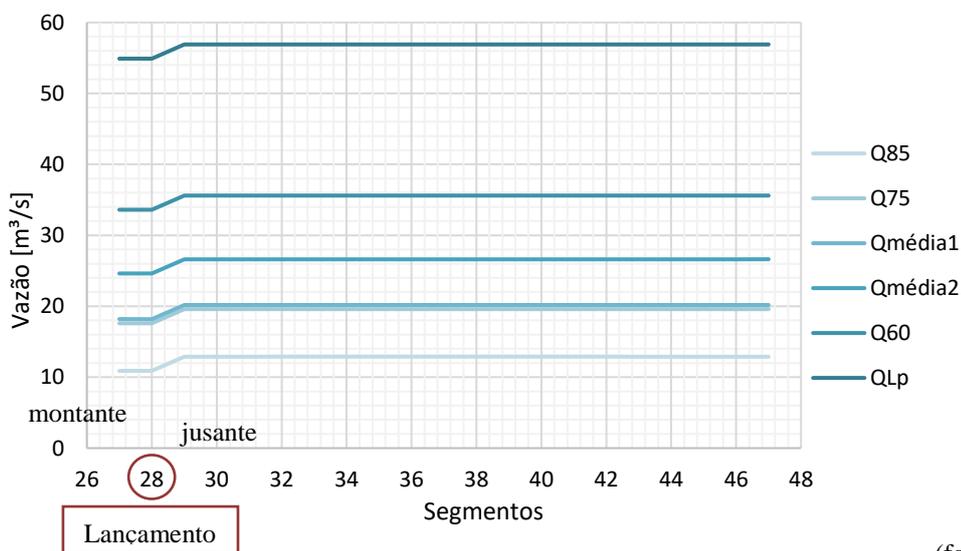


(fonte: Autor)

#### 5.4. RESULTADOS - PONTO B: CENÁRIOS 3 E 4

Para os cenários 3 e 4, localizados no ponto B obteve-se a seguinte série - Figura 69 - para as vazões simuladas.

Figura 69 - Simulação: Vazões - Cenários 3 e 4

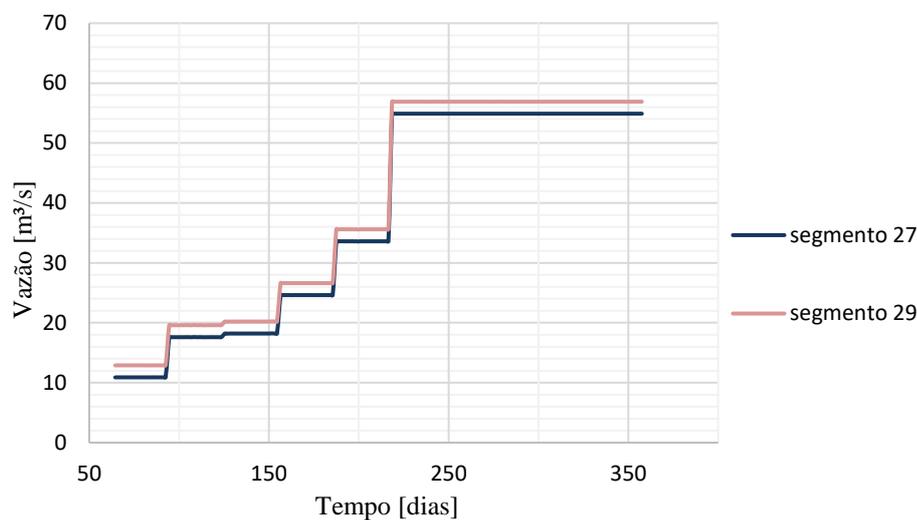


(fonte: Autor)

Pode-se notar na Figura 69, o ponto de deságue do esgoto, no segmento 29 que tem suas vazões aumentadas em cerca de 2 m<sup>3</sup>/s, vazão constante simulada para o canal extravasor. Já na Figura

70, observa-se o segmento 27, localizado a montante do deságue e o segmento 29, que recebe a o efluente, onde nota-se de forma clara a defasagem de 2 m<sup>3</sup>/s entre os dois.

Figura 70 - Simulação: Vazões - Cenários 3 e 4 (segmentos 27 e 29)



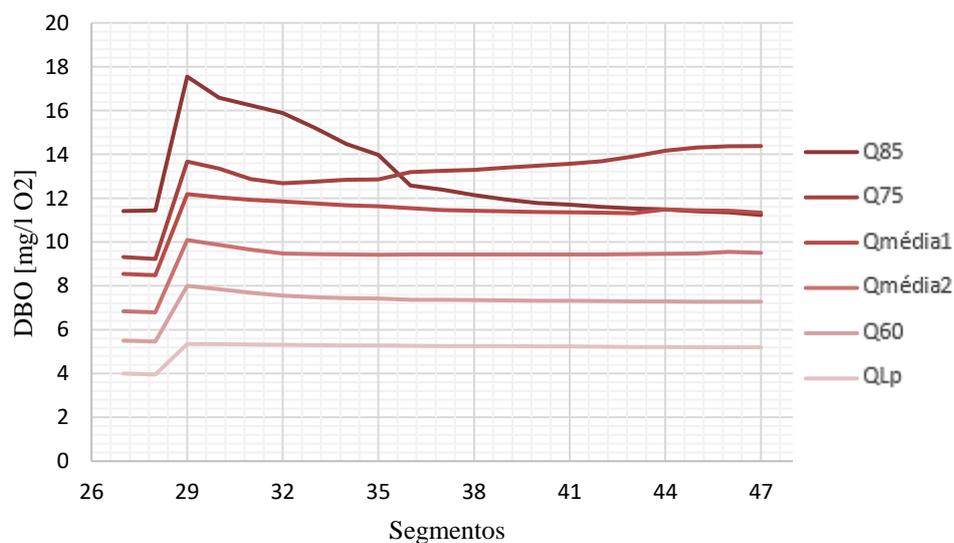
(fonte: Autor)

#### 5.4.1. Cenário 3

##### *Demanda Bioquímica de Oxigênio*

A simulação da Demanda Bioquímica de Oxigênio para o cenário 3, apresentou os resultados elencados na Figura 71 a seguir.

Figura 71 - Simulação: DBO - Cenário 3

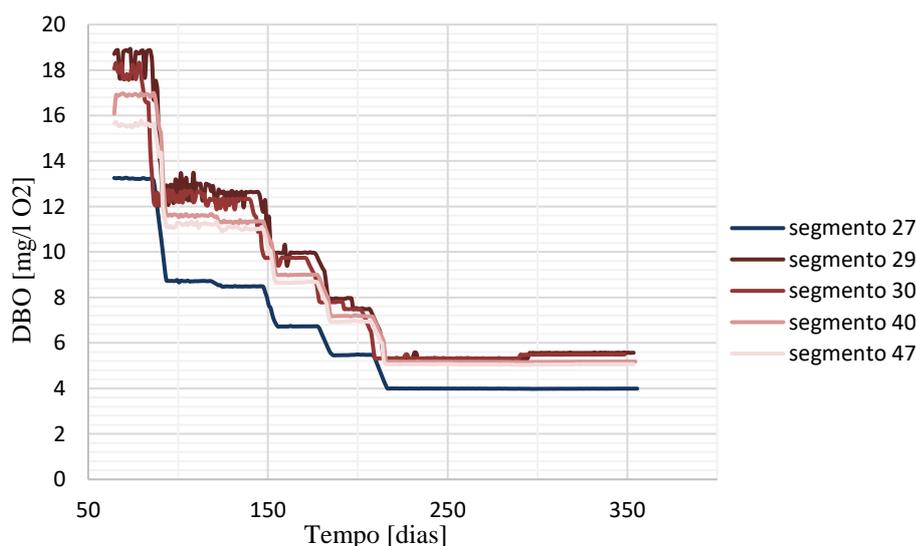


(fonte: Autor)

Para este cenário, pode-se notar melhor o desenvolvimento do parâmetro, observando-se os segmentos a jusante desse lançamento de efluente. Observa-se, na Figura 71, que após o lançamento do esgoto no segmento 29, a concentração de DBO, aumenta instantaneamente. Pode-se dizer, que para a menor vazão simulada este efeito é mais pronunciado. Porém, com o passar dos segmentos, nota-se que para esta vazão, a concentração de DBO retorna para as condições iniciais, ainda nos segmentos simulados, já para as vazões superiores (representadas pelos maiores dias julianos), mesmo que inicialmente tenha-se um efeito menos pronunciado, as condições não retornam a sua concentração inicial, pelo menos nos segmentos analisados.

Na Figura 72, encontram-se graficados os segmentos em relação ao tempo. Pode-se notar a defasagem significativa entre o segmento a montante (linha azul) e os segmentos a jusante do lançamento, que possuem concentração de DBO bem maior.

Figura 72 - Simulação: DBO - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47)



(fonte: Autor)

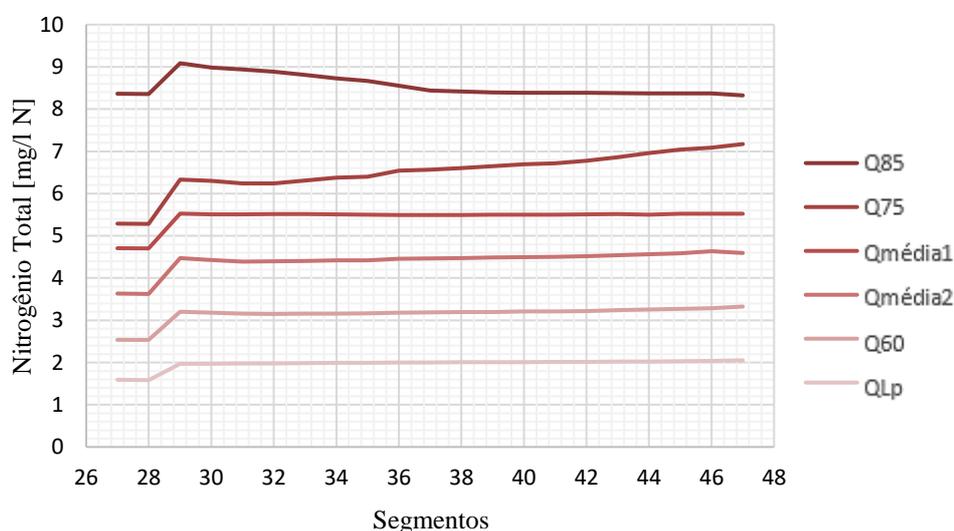
Nota-se ainda na Figura 72, que mesmo de forma pouco significativa, para as vazões menores, correspondentes aos tempos iniciais de simulação, a recuperação do corpo hídrico é mais pronunciada que no período de maior vazão.

### *Nitrogênio Total*

A seguir na Figura 73 apresentam-se os resultados simulados para o Nitrogênio Total no cenário 3. A figura demonstra resultados parecidos com o processo simulado para a DBO, onde de

forma instantânea a inserção do esgoto tem um maior efeito nas vazões pequenas, porém, para estas vazões menores, o corpo hídrico se recupera mais rapidamente.

Figura 73 - Simulação: NT - Cenário 3

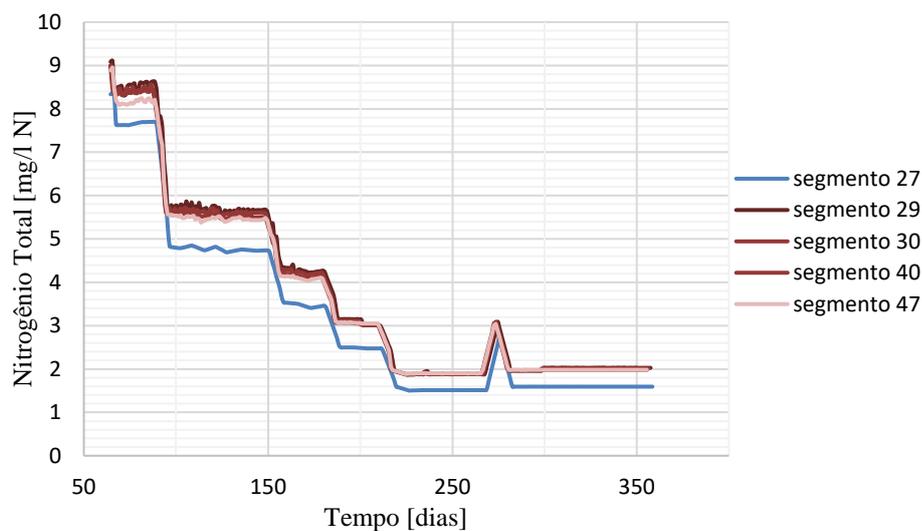


(fonte: Autor)

Um fato atípico acontece para a vazão Q75, onde encontra-se a segunda menor vazão simulada, em que a concentração de nitrogênio, após a inserção do esgoto, tem um aumento praticamente contínuo, sem esboçar uma tendência de recuperação, nos segmentos simulados.

Na Figura 74, pode-se notar esses efeitos, em alguns segmentos selecionados. De forma clara, percebe-se o aumento da concentração de nitrogênio total, nos segmentos a jusante do lançamento. Nesta simulação, a recuperação do corpo hídrico, é pouco significativa, ao longo do tempo simulado.

Figura 74 - Simulação: NT - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47)

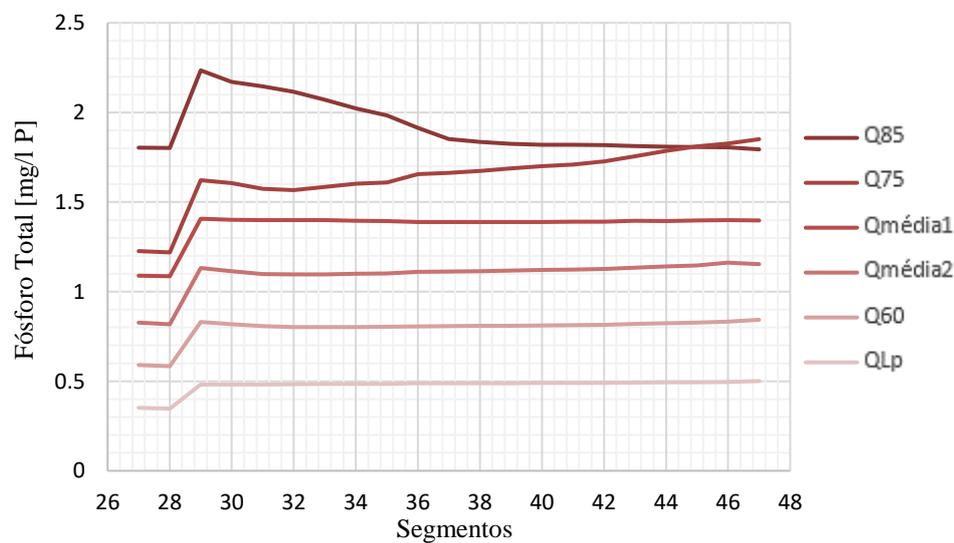


(fonte: Autor)

### Fósforo Total

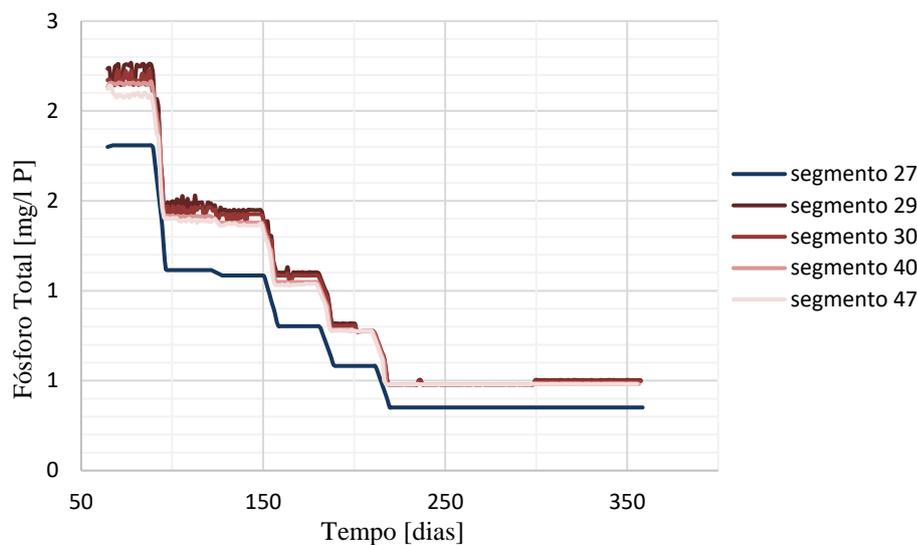
Para o parâmetro de Fósforo Total, os resultados são semelhantes aos elencados para o Nitrogênio Total, inclusive o fato atípico para a segunda vazão simulada. Os resultados podem ser observados na Figura 75 e Figura 76 a seguir.

Figura 75 - Simulação: PT - Cenário 3



(fonte: Autor)

Figura 76 - Simulação: NT - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47)

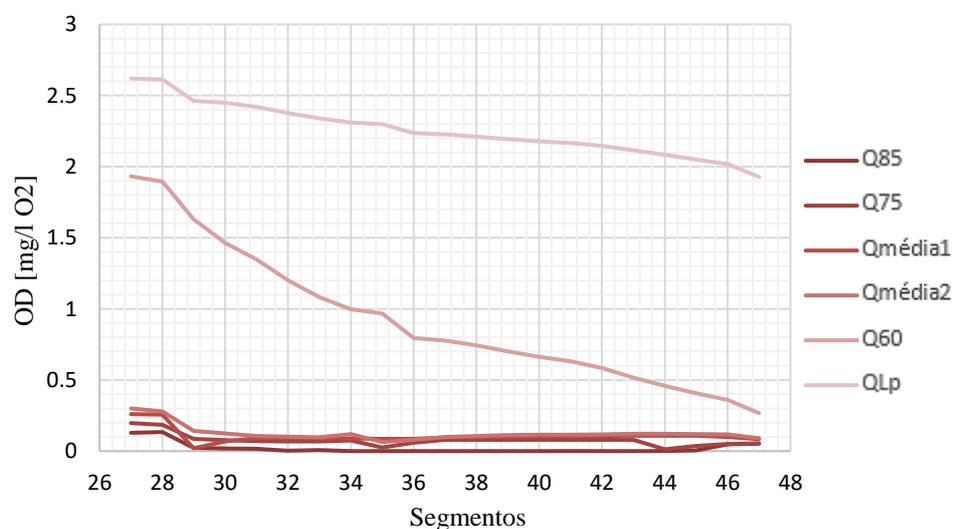


(fonte: Autor)

### Oxigênio Dissolvido

Para o parâmetro de Oxigênio Dissolvido, apresentado na Figura 77, nota-se para as mais baixas e maioria das vazões, que a partir da entrada do esgoto no segmento 29, o parâmetro de Oxigênio Dissolvido tem sua concentração diminuída, como se esperava, e que com o passar dos segmentos, não se pode notar de forma clara uma possível reação do corpo hídrico em termos de recuperar sua condição inicial. Este efeito é muito pronunciado nas duas vazões maiores simuladas, onde a partir da inserção do efluente as concentrações de oxigênio dissolvido apresentam uma tendência pronunciada de queda.

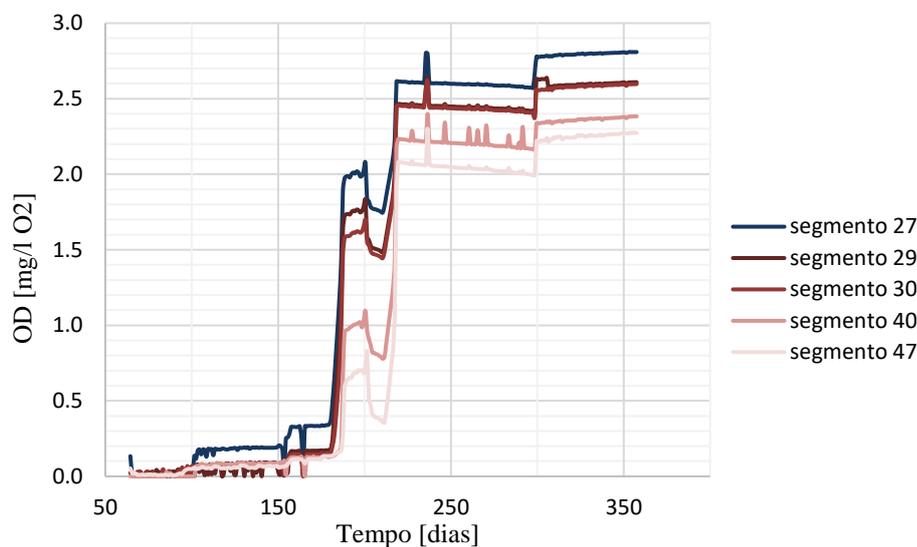
Figura 77 - Simulação: OD - Cenário 3



(fonte: Autor)

Na Figura 78, pode-se observar o segmento 27, antes do deságue de efluente, com a maior concentração entre os segmentos analisados e que para os segmentos a jusante do lançamento, as condições de oxigênio dissolvido diminuem ainda mais.

Figura 78 - Simulação: OD - Cenário 3 (segmentos 27/29/30/40/47)



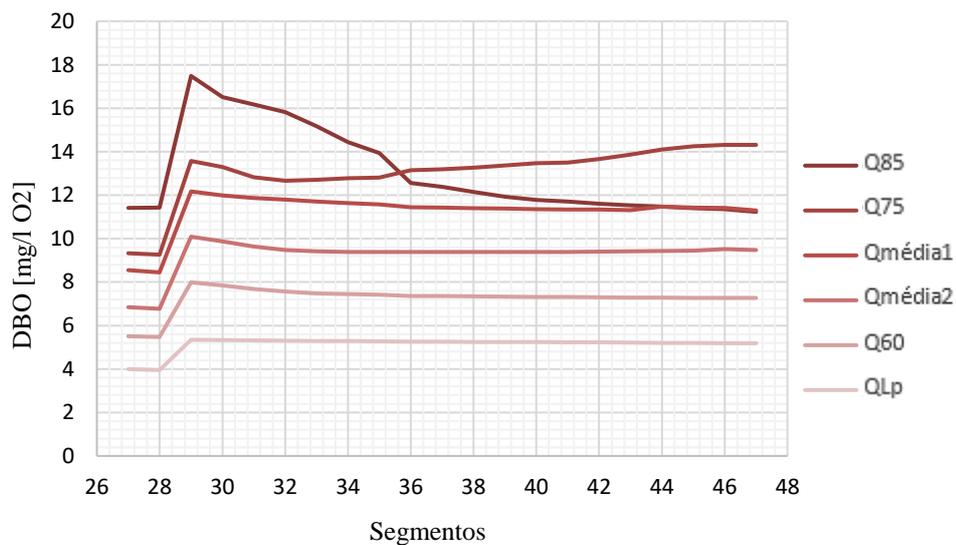
(fonte: Autor)

#### 5.4.2. Cenário 4

##### *Demanda Bioquímica de Oxigênio*

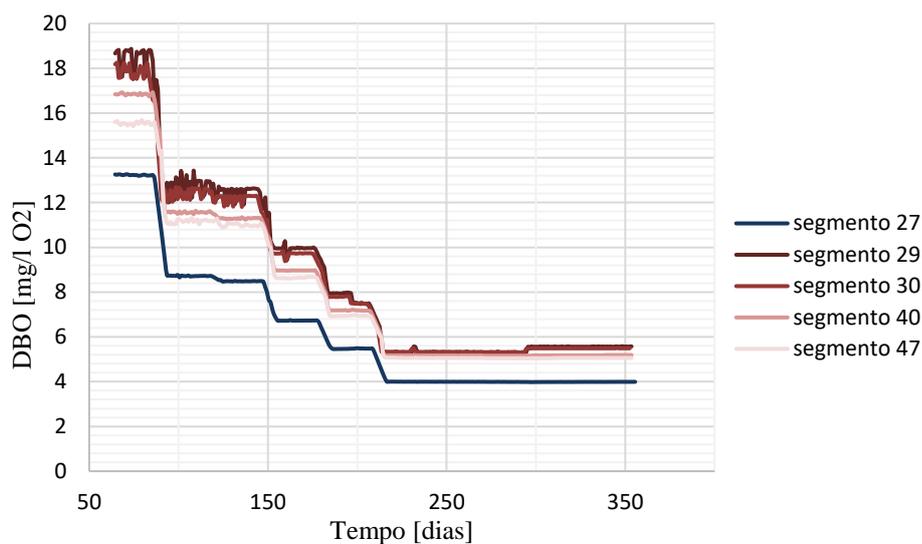
A simulação da demanda bioquímica de oxigênio para o cenário 4, apresentou os resultados apresentados na Figura 79 e Figura 80 a seguir.

Figura 79 - Simulação: DBO - Cenário 4



(fonte: Autor)

Figura 80 - Simulação: DBO - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47)



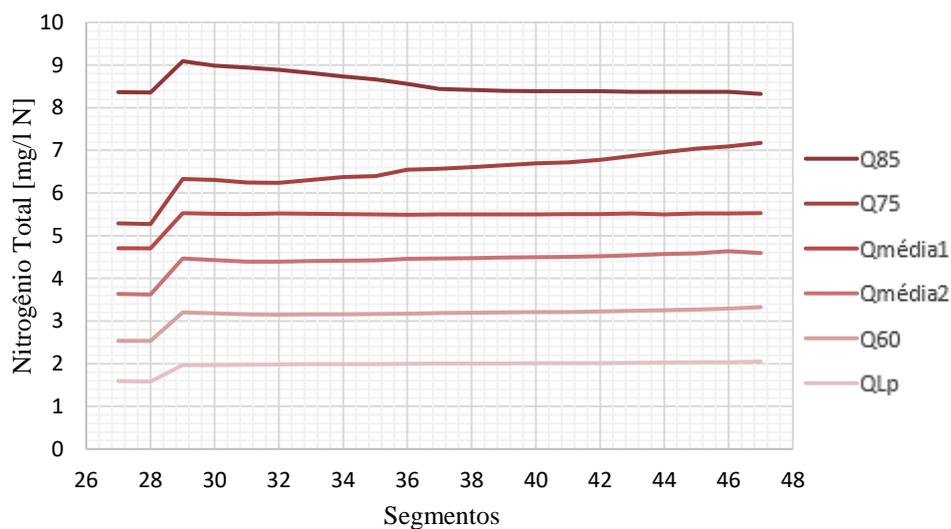
(fonte: Autor)

Novamente, como aconteceu para os cenários 1 e 2, não se pode notar diferenças evidentes entre os cenários 3 e 4, para o parâmetro de DBO, onde a diferença entre os dois cenários, estava na concentração de Oxigênio Dissolvido inseridas como carga no efluente, sendo maiores para o cenário 4.

### Nitrogênio Total

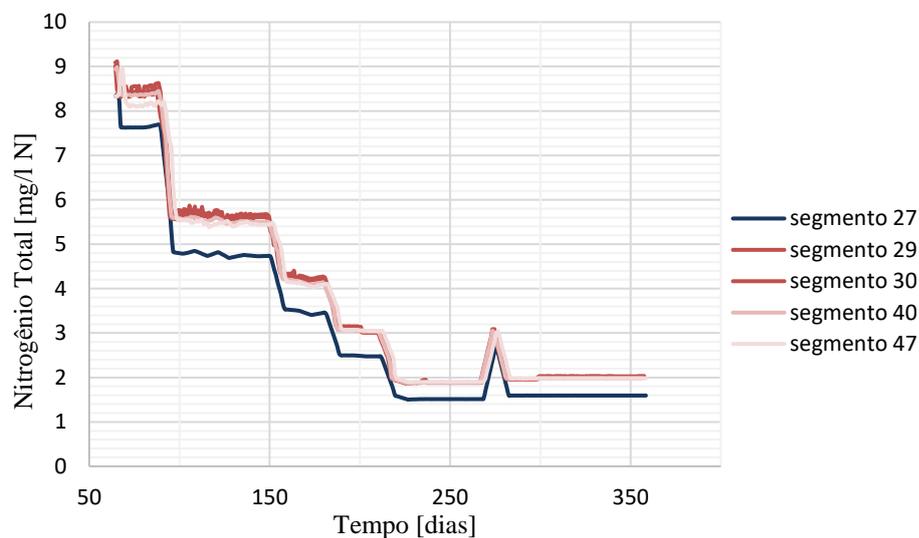
A simulação do Nitrogênio para o cenário 4, apresentou os resultados da Figura 81 e Figura 82 a seguir, observando-se o mesmo comportamento relatado para o parâmetro de DBO, onde não se pode observar diferenças evidentes entre os cenários 3 e 4.

Figura 81 - Simulação: NT - Cenário 4



(fonte: Autor)

Figura 82 - Simulação: NT - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47)

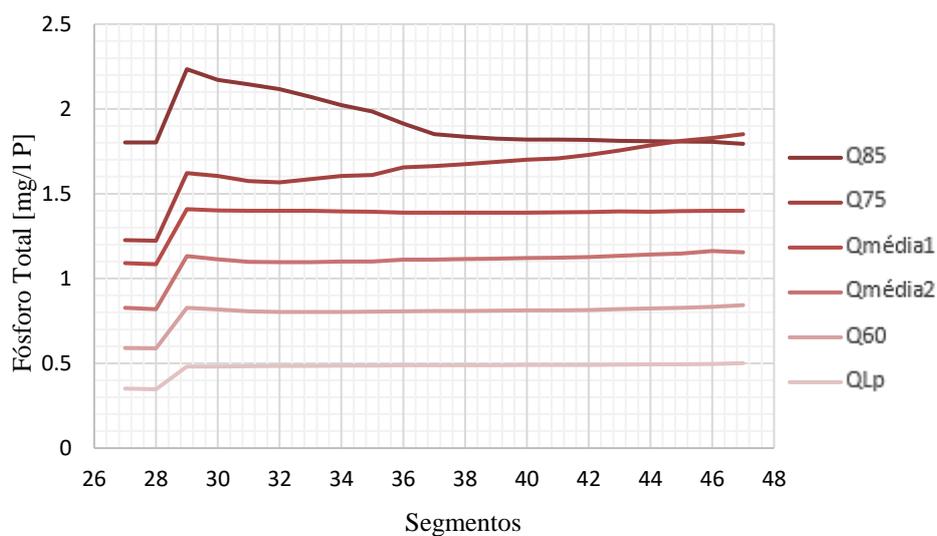


(fonte: Autor)

### Fósforo Total

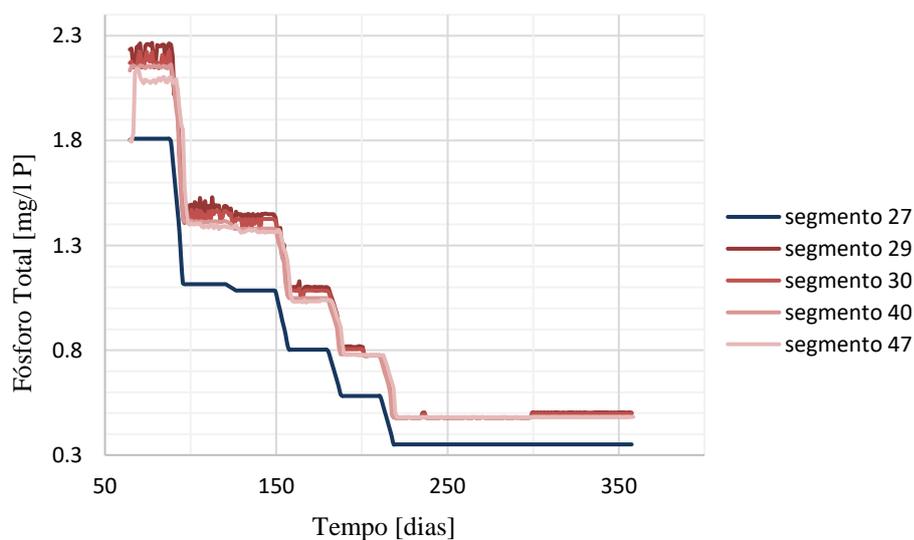
Também a simulação do Fósforo Total para o cenário 4, apresentou os resultados da Figura 83 e Figura 84 a seguir, observando-se o mesmo comportamento relatado para o parâmetro de DBO e Nitrogênio Total, onde não se pode observar diferenças evidentes entres os cenários 3 e 4.

Figura 83 - Simulação: PT - Cenário 4



(fonte: Autor)

Figura 84 - Simulação: PT - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47)

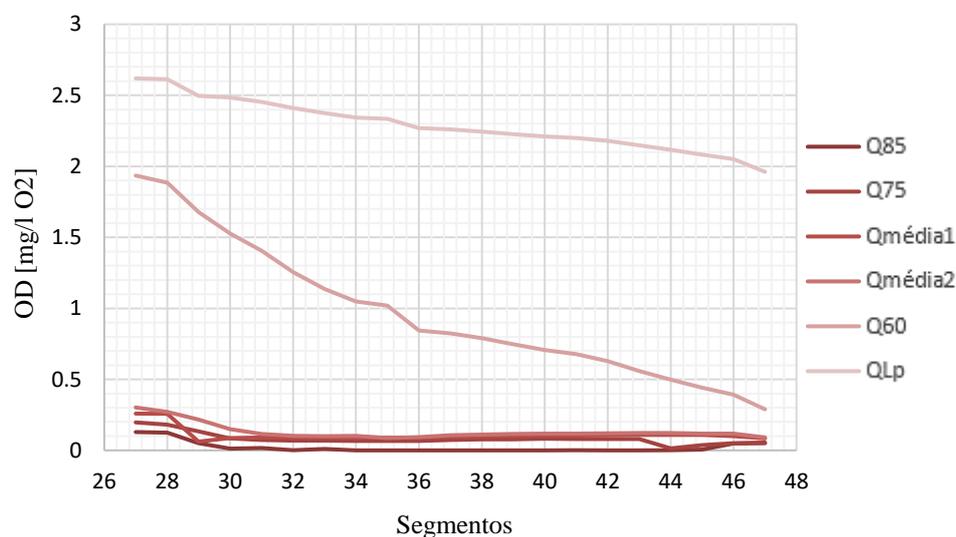


(fonte: Autor)

### Oxigênio Dissolvido

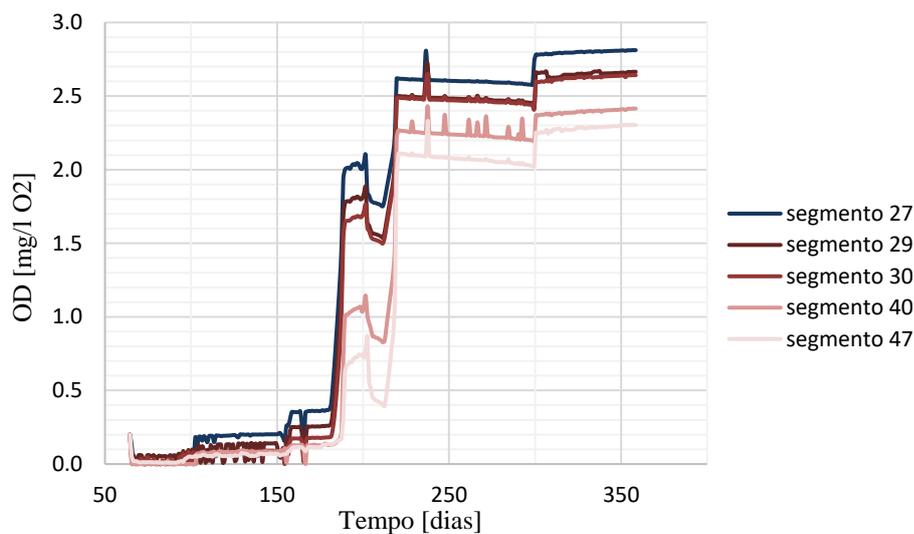
Finalmente, apresentam-se os resultados de Oxigênio Dissolvido para o cenário 4 na Figura 85 e Figura 86. Como relatado na discussão do Oxigênio Dissolvido para o cenário 2 em relação ao cenário 1, onde buscava-se que ocorressem diferenças mais significativas em relação ao cenário anterior que recebeu uma carga de Oxigênio Dissolvido pior, neste cenário 4, em relação ao cenário 3, novamente não se pode observar diferenças visuais entre as simulações. Como dito anteriormente, acredita-se que o aumento na concentração do oxigênio neste cenário, não foi suficiente para causar mudanças significativas nos processos que ocorrem no leito do rio.

Figura 85 - Simulação: OD - Cenário 4



(fonte: Autor)

Figura 86 - Simulação: OD - Cenário 4 (segmentos 27/29/30/40/47)



(fonte: Autor)

## 5.5. ENQUADRAMENTO

Com os resultados obtidos nas simulações realizadas, pode-se fazer uma breve análise das concentrações obtidas na simulação, com o enquadramento do Rio Gravataí exposto na Resolução 113/2012 do CONSEMA. Esta Resolução, enquadra este corpo hídrico conforme o estabelecido na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Enquadramento Rio Gravataí

Situação Atual	Meta 10 anos	Meta 15 anos	Meta 20 anos	Enquadramento
4	4	4	3	2

(fonte: Resolução CONSEMA 113; 2012)

Para os parâmetros de Fósforo Total e Oxigênio Dissolvido, a qualidade atual do Rio Gravataí, já se mostra bastante limitada, estando com padrões de classe 4. Assim, depois da inserção do esgoto esta condição tende apenas a piorar-se, afastando-se ainda mais do Enquadramento de classe 2 proposto pela Resolução e da meta de longo prazo prevista para a classificação em classe 3.

Já para o parâmetro da Demanda Bioquímica de Oxigênio, observa-se que na situação atual, a qualidade da água está enquadrada em classe 3, com uma concentração menor que 10 mg/l de O<sub>2</sub>, limite para qual a classificação muda para a classe 4. Em todos os cenários realizados, para a vazão de 10,9 m<sup>3</sup>/s, a terceira, em ordem crescente, vazão simulada, obteve-se valores de

concentração maiores que 10 mg/l de O<sub>2</sub>. Assim, o rio passaria do enquadramento 3 para a classe 4, o que estaria indo contra as metas de enquadramento deste rio.

Cabe ressaltar, que para realizar-se esta análise, utilizou-se a vazão referida, porque esta é a vazão Q85 do Rio, que foi utilizada no processo de enquadramento regido pela Resolução do CONAMA. Também é pertinente dizer-se que quando se fala de condição atual, refere-se ao ano de 2012, último ano avaliado pelo Plano de Bacia (2012), no qual este trabalho se baseou. E por fim, lembra-se também, que estes parâmetros estão sempre sendo avaliados em relação a estação *Foz do Rio Gravataí*.

Uma breve análise do parâmetro de Nitrogênio Amoniacal Total, mostra que a situação atual deste parâmetro estaria enquadrando o rio em classe 1. Depois dos despejos simulados aqui, notou-se que para um  $\text{pH} \leq 7,5$ ; a classe do rio continuaria sendo 1 ou 2, pois o limite ficaria em 13,3 mg/l. Já para pH entre 7,5 e 8,0; a classe estaria no limite de transição entre as classes 1/2 e a classe 3; já que o limite de classe para essa faixa de pH, seria de 5,6 mg/l, valor que estaria muito próximo dos valores de concentração encontrados para Nitrogênio Total, na vazão de referência aqui mencionada. Para  $\text{pH} > 8$ , a maior parte da simulação estaria classificada em classe 3. Ressaltasse que esta é apenas uma aproximação, já que os valores pré-estabelecidos para o enquadramento se referem ao Nitrogênio Amoniacal Total e neste trabalho, simulou-se o Nitrogênio Total.

## 5.6. PÓS-PROCESSADOR

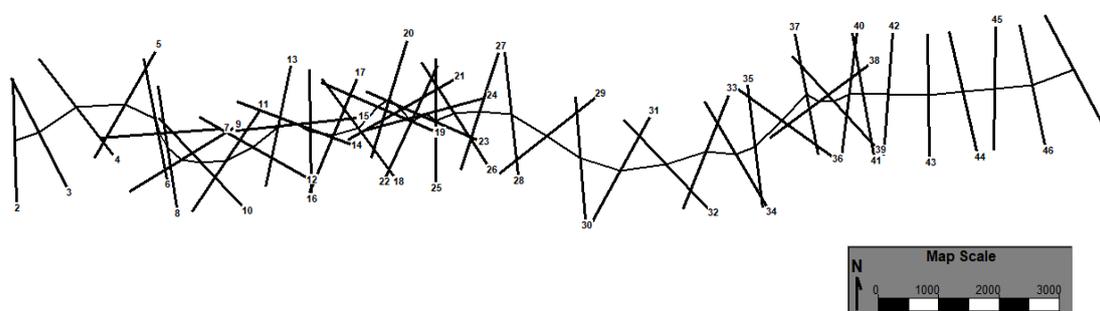
O modelo CE-QUAL-W2 também possui um pós-processador, desenvolvido para retornar nos resultados de saída opções gráficas para melhor visualização das simulações realizadas. Neste trabalho, não se fez uso aprofundado desta ferramenta, entretanto, nas figuras (Figura 87, Figura 88 e Figura 89) apresentam-se algumas possibilidades de utilização deste pós-processador que foram geradas através das simulações realizadas.

Figura 87 - Perfil Longitudinal Simulação



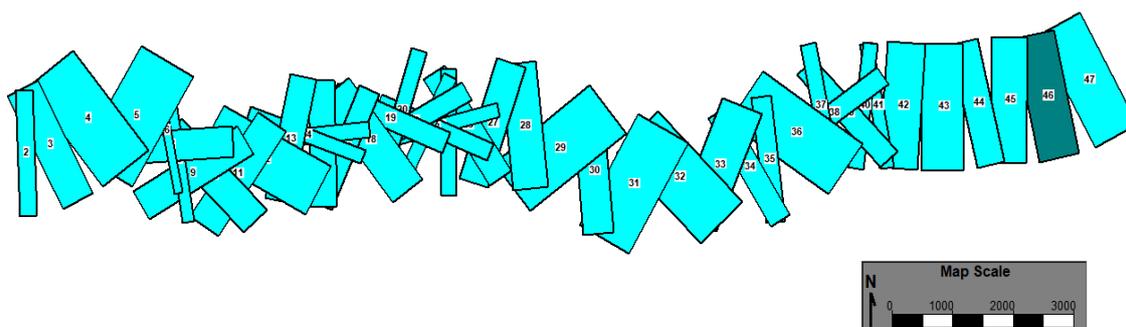
(fonte: Autor – Pós-processador CE-QUALW2)

Figura 88 - Destaque para os ângulos dos segmentos simulados



(fonte: Autor – Pós-processador CE-QUALW2)

Figura 89 - Segmentos simulados



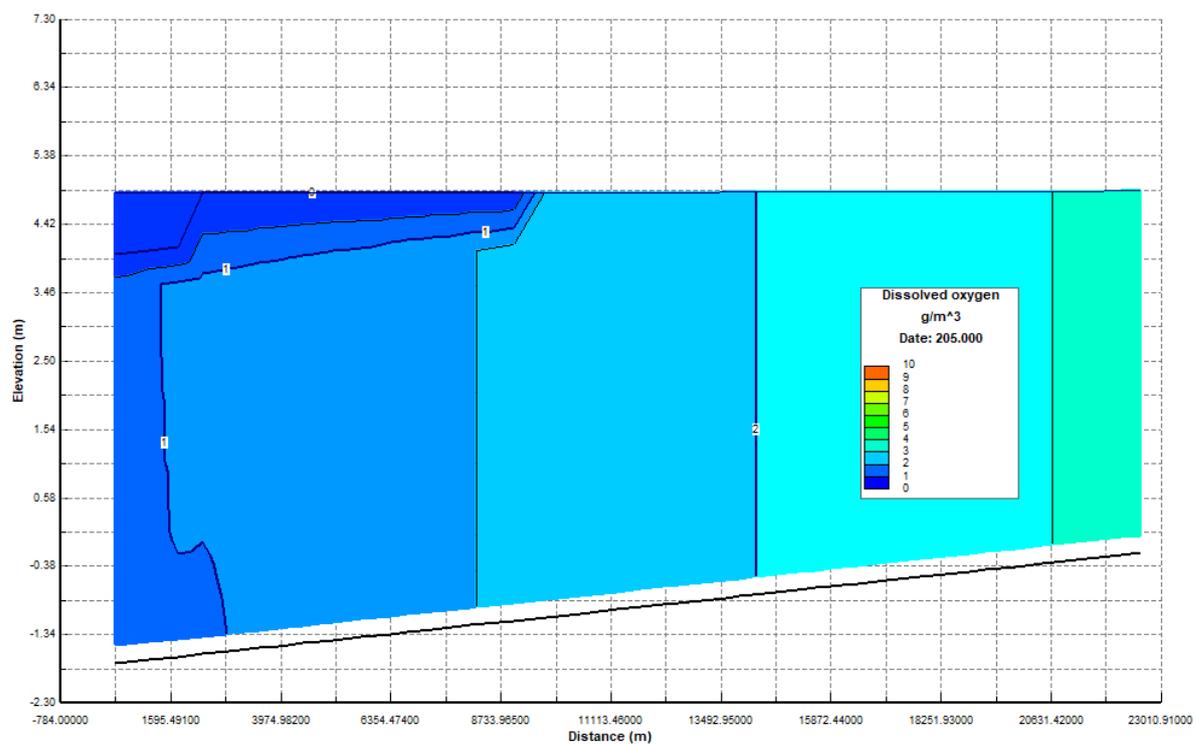
(fonte: Autor – Pós-processador CE-QUALW2)

Nota-se na Figura 89, a legenda de cores utilizada para demonstrar o local de inserção de tributários no rio. Esta figura faz menção aos cenários 1 e 2.

Finalmente, a Figura 90 demonstra a dispersão do parâmetro de oxigênio dissolvido. Pode-se notar que nas seções mais a montante, a legenda de cores indica maiores concentrações de oxigênio dissolvido do que as seções mais a jusante. Assim, pode-se notar na Figura 90,

avaliada no dia juliano 205, uma condição de recuperação gradual das condições do corpo de água.

Figura 90 – Oxigênio Dissolvido - Date: 205



(fonte: Autor – Pós-processador CE-QUALW2)

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A elaboração deste trabalho, buscou demonstrar os efeitos do lançamento do efluente extravasado pela câmara de chegada da ETE Mato Grande na cidade de Canoas, utilizando o cenário em que o corpo receptor é o Rio Gravataí.

A aplicação do modelo CE-QUAL-W2 nas condições propostas por este trabalho, mostrou-se bastante consistente em sua missão de ser um estudo prévio das condições aqui propostas e analisadas. Concluiu-se que o modelo conseguiu estabelecer uma boa estabilidade geométrica e também se mostrou muito coerente quanto aos resultados simulados para as vazões e temperaturas, conforme os dados que lhe foram inseridos. Quanto a qualidade de água, o modelo também apresentou boa estabilidade para o parâmetro de Fósforo Total, principalmente. Para o parâmetro de Oxigênio Dissolvido, encontraram-se as maiores instabilidades, mas estas se devem, como já pontuado, aos diversos processos complexos que envolvem essa variável.

Quanto aos resultados propriamente ditos das simulações, percebeu-se duas condições distintas. Com a simulação dos primeiros dois cenários (1 e 2), teve-se como conclusões preliminares, que para as vazões maiores, a inserção de uma vazão dos efluentes excedentes da ETE Mato Grande, teria um impacto menos significativo que em pequenas vazões. Assim, como o bypass, funcionaria apenas em eventos de chuva, onde as vazões no rio também são grandes, teve-se a primeira impressão de que o impacto observado, não seria tão negativo e importante para a qualidade do rio.

Entretanto, nos cenários 3 e 4 também analisados, pode-se perceber, que o impacto causado pelo efluente nas grandes vazões era menos significativo logo no início, porém, mais a jusante deste ponto de lançamento, pode-se observar que o rio demorava ou não era observado o retorno das condições iniciais em que o rio se encontrava.

Cabe ressaltar que os cenários 1 e 2, correspondem ao lançamento do efluente aproximadamente na foz do Rio Gravataí, ao passo que os cenários 3 e 4, representam uma análise alternativa do efluente sendo lançado em um trecho mais a montante na simulação. Ainda, tem se a diferenciação entre os cenários 1 e 2; e entre os cenários 3 e 4, pela carga de oxigênio presente no efluente, que nos cenários 1 e 3 é nula, e para os cenários 2 e 4 é de 1 mg/l de O<sub>2</sub>.

Assim, buscando responder à pergunta que impulsionou este trabalho, quanto a capacidade de suporte do Rio Gravataí como corpo receptor das águas excedentes da ETE Mato Grande, conclui-se que não é possível afirmar que o corpo de água possui uma capacidade de autodepuração suficiente para que esse despejo não interfira de forma negativa nos processos que ocorrem no rio. Porém, os resultados que indicam o impacto menos pronunciado em maiores vazões, colocam o Rio Gravataí com uma possibilidade que pode ser avaliada mais profundamente para quem sabe validar sua capacidade de suporte para este cenário.

Cabe ressaltar que as condições em que já se encontra o Rio Gravataí ajudam a indicar esse rio como possível receptor de esgotos, já que este já tem sua qualidade muito comprometida pelos despejos que ocorrem em seu leito. Esta é uma situação ruim, pois como relatado de forma bastante extensa nesse trabalho, o Rio Gravataí tem enorme posição de destaque na economia do estado e nas condições de qualidade de vida da população que vive em seus arredores.

#### *Recomendações*

O tema abordado neste trabalho, abrange uma série enorme de possibilidades de avaliação, portanto faz-se algumas recomendações para que trabalhos futuros possam abordar o tema de modo mais profundo e também utilizar mais ferramentas do modelo CE-QUAL-W2 que se mostra como um excelente software para este tipo de modelagem.

- 1 – Recomenda-se uma calibração mais detalhada, que usa mais pontos e parâmetros do modelo, que não pode ser realizada no contexto do presente trabalho;
- 2 – Recomenda-se a avaliação de mais parâmetros de qualidade de água que o próprio modelo CE-QUAL-W2 suporta;
- 4 – Também se indica a possibilidade de fazer uma simulação com dados de batimetria de um número maior de seções transversais, para que os resultados se assemelhem mais com a realidade do Rio Gravataí;
- 5 – Quanto as vazões, aconselha-se a utilizar métodos que simulem um fluxo não contínuo do lançamento de esgoto, já que neste trabalho o uso do lançamento como contínuo é apenas uma aproximação;

- 5 – Nesse mesmo sentido, recomenda-se avaliar de forma mais complexa as relações entre as precipitações que causam o acionamento do by-pass com as vazões do rio que acontecem no mesmo período;
- 6 – Também, indica-se que sejam avaliados métodos alternativos para o cálculo das cargas presentes no lançamento, já que nesse trabalho utilizaram-se métodos de cálculo para esgotos brutos e não diluídos por águas pluviais;
- 7 – Propõe-se também que as próximas simulações deste cenário utilizem intervalos de tempo menores, bem como discretizações verticais da dispersão dos parâmetros de qualidade de água e das séries de temperatura;
- 8 – Por fim, recomenda-se melhorar a análise do Nitrogênio, já que neste trabalho, foram simulados valores de Nitrogênio Total com base nos valores de Nitrogênio Amoniacal Total apresentados no Plano de Bacia (2012);

## REFERÊNCIAS

ANA. **Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua/rnqa>>. Acesso em: maio, 2018.

ANA. **Situação da Água no Mundo**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acesso em: maio, 2018.

ANDRADE, L. N. **Autodepuração dos Corpos D'água**. REVISTA DA BIOLOGIA. Vitória, v. 5, p. 16-19 2010.

ARAÚJO, R. **ESGOTO SANITÁRIO – Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/o-esgoto-sanitario-a-origem/>>. Acesso em: maio, 2018.

ARAÚJO, S.C.S. **Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas**. 2005. 218 f. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE. Porto Alegre, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 105p. 1998.

BRAGA, B., et al (2002). **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall.

BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 001**, Brasília, 1986.

BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 357**, Brasília, 2005.

BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 430**, Brasília, 2011.

BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 237**, Brasília, 1997.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. 168 p. Organização do texto: Juarez de Oliveira. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Brasília, 1998.

BUTTS, M. B; PAYNE, J. T.; KRISTENSEN, M.; MADSEN, H. **An evaluation of the impact of model structure on hydrological modelling uncertainty for streamflow simulation.** *Journal of Hydrology*, n.1, v.298, p.242-266, 2004.

CASTAGNINO, W. A. (1977). Polución de agua. Modelos y control. Lima, CEPIS. 234 p.

CHIES, A. C. **Avaliação de Coagulantes a Base de Ferro na Remoção de Fósforo Total no Tratamento de Esgoto.** 2016. 51f. Dissertação (Graduação em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. **História.** Disponível em: <<http://www.corsan.com.br/historia>>. Acesso em: maio, 2018.

CRUZ DA SILVA, R. **Estudo da Dinâmica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS.** 2016. 330f. Tese (Pós-graduação em Geografia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

CUNHA, A. C. **Estudo de Autodepuração Hídrica do Ribeirão Tatu Utilizando o Modelo de Streeter & Phelps.** 2016. 74f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2016.

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php>>. Acesso em: maio, 2018.

DRH/SEMA. DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DA SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE e SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL. **Plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí: relatório final.** Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente, Porto Alegre, 2012.

DRH/SEMA. DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DA SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE e SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL. **Plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí: relatório final.** Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente, Porto Alegre, 2012.

FAN, F. M. **Simulação dos impactos de lançamentos de poluentes sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas integrada com sistema de informação geográfica.** 2013. 241f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUÍS ROESSLER. **Qualidade ambiental: Região Hidrográfica do Guaíba.** Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>. Acesso em 09 Jun. 2018.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. **Principais Modelos Matemáticos de Qualidade da Água e suas Aplicações: uma Revisão.** Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira, v. 01, n. 07, p. 47-62, 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER, Região hidrográfica do Guaíba. 2011. Disponível em: <<http://www.fepam@rs.gov.br>>. Acesso em: 5 dez. 2013

GUASSELLI, L. A.; BELLOLI, T. F.; SIMIONI, J. P. D.; ETCHELAR, C. B.; BRENNER, V. C. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**. In: Áreas úmidas: questões ambientais. Porto Alegre: UFRGS/Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018. p. 113-138.

IAWQ (1995). **Activated sludge model**. n. 2. IAWQ Scientific and Technical Reports.

IBGE. IBGE - cidades @. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2018.

IPH - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS. 2002. **Identificação das alternativas possíveis e prováveis para regularização das vazões do Rio Gravataí: Relatório Final**. Porto Alegre: IPH/CPRM, 207 p.

JOBSON, H. E. DAFLOW. **User's manual for an open-channel streamflow model based on the diffusion analogy**. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 89-4133, 73 p. 1989.

KIM, D.J.; LEE, D.I.; KELLER, J. (2006). **Effect of temperature and free ammonia on nitrification and nitrite accumulation in landfill leachate and analysis of its nitrifying bacterial community by FISH**. Bioresource Technology, v. 97, n. 3, p. 459-468.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática de qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas-RS**. 2004. 159f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MELLO, L. P. **Percepção da Paisagem e Conservação Ambiental e Conservação Ambiental do Banhado Grande do Rio Gravataí (RS)**. 1998. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MOLINAS, E., SOUZA FILHO, F. A. **Modelagem numérica bidimensional da hidrodinâmica e qualidade da água em reservatório: pré-processador para o modelo CE-QUAL-W2 aplicado ao reservatório Pereira de Miranda**. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 32, n. 01, p. 31-47, 2011.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. PROSAB. ESGOTO. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. 2009. 430f. Disponível em: <[https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5\\_tema\\_2.pdf](https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_2.pdf)>. Fortaleza, 2009.

NORO, E. A. **Sistema Combinado de Esgotamento Sanitário: Alternativa Viabilizadora de Sistemas de Esgoto**. 2012. 78f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OPPA, L. F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim**. 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ORLOB, G. T. **Mathematical modeling of water quality: streams, lakes, and reservoirs.** Chichester: Wiley, 1982.

PEREIRA, S. R. ReRH: **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos/Instituto de Pesquisas Hidráulicas** – UFRGS – Vol. 1, n. 1(2004) Porto Alegre/RS: IPH, p. 41-53, 2004.

PERIN, L. T. **Uso do modelo QUAL-UFGM no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do rio km 119 – Campo Mourão.** 2013. 55f. Tese (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão, Campo Mourão, 2013.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA.** Rev. Ambient. Água, vol. 12, n. 3 Taubaté, p. 435-456, 2017.

PORTLAND STATE UNIVERSITY. **Model Description.** Disponível em: <<http://www.cee.pdx.edu/w2/>>. Acesso em: jul. 2018.

REIS, J. S. A. **Modelagem Matemática da Qualidade da Água para o Alto Rio das Velhas/MG.** 2009. 169f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

RIO GRANDE DO SUL, CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente, **Resolução nº 355**, Porto Alegre, ano 2017.

RIO GRANDE DO SUL, CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente, **Resolução nº 129**, Porto Alegre, ano 2006.

RIO GRANDE DO SUL, CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente, **Resolução nº 334**, Porto Alegre, ano 2016.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. **Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1994.

SALAS, H. J., MARTINO, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, 25 (3), p. 341-350.

SALOMONI, S. E. **Diatomáceas epilíticas indicadoras da qualidade de água na bacia do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil.** 2004. 230f. Tese (Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: <<http://www.samaecaxias.com.br/>>. Acesso em: maio, 2018.

SANEP – Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. Disponível em: <<http://server.pelotas.com.br/sanep/>>. Acesso em: maio, 2018.

SCHEREN, R. S. **Urbanização na Planície de Inundação do Rio Gravataí – RS.** 2014. 123f. Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: <<http://www.semae.rs.gov.br/>>. Acesso em: maio, 2018.

SILVA, J. F. **Cenário ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande a partir das diatomáceas epílicas e fatores abióticos**. 2014. 86f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Mapa interativo**. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=e745db7488f64e1a9a2e4e150e41b08e> figura>. Acesso em: junho, 2018.

SNIS – Ministério das cidades. **Diagnóstico de água e esgoto 2016**. 220f. Brasília, 2016.

SOUTO, J. P.; LIRA, A. G. S.; FIGUEIRA, J. S.; SILVA, A. N.; SILVA, E. S. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2015, Porto Alegre. **Poluição Fecal da água: Microrganismos Indicadores**. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VIII-009.pdf>>. 6f. Porto Alegre, 2015.

SOUZA, R. S. **Simulação hidrodinâmica da qualidade da água. Estudo de caso: ajuste do modelo CE-QUAL-W2 à sub-bacia do Arroio Demétrio, Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí/RS**. 2006. 156f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

STAMPE, M. Z. **O valor da água para irrigação na bacia do Rio Gravataí**. 2007. 138f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

STEHFEST, N. (1973). **Modelltheoretische Untersuchungen zur Selbstreinigung von Fließgewässern**. KFK 1654 UF.

STREETER, H. W., PHELPS, E. B. (1925). **A study of the pollution and natural purification of the Ohio River**. Public Health Bulletin, 146, Washington.

THOMANN, R. V., MUELLER, J. A. (1987). **Principles of Surface water quality modeling and control**. Harper International Edition. 644p.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2. Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de São Paulo, 2000.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. **Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil**. Revista Água Latinoamérica, Tucson, v. 4, n. 4, p 20-25, jul./ago. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da Universidade, 669p., 1998.

TUCCI, C.E.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T.de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. ISBN85-7025-364-8.

VOLLENWEIDER, R. A. (1976). **Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. OECD Cooperative Programmer in Eutrophication.** p. 55–83.

VON SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007. 588 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WINCK, N. B.; CARDOSO, N. C.; DE CARVALHO, C. T.; RODRIGUES, M. L. K. **Avaliação de Elementos Potencialmente Tóxicos nos Sedimentos do Rio Gravataí (RS) nos anos de 2000 e 2003.** Revista de Iniciação Científica da ULBRA, Canoas, n. 12, p. 27-37, 2014.

XU, Z.; GODREJ, A. N.; GRIZZARD, T. J. **The hydrological calibration and validation of a complexly-linked watershed– reservoir model for the Occoquan watershed, Virginia.** Journal of Hydrology, n.3-4, v.345, p. 167-183, 2007.

## ANEXO A – Comparação de Modelos de Qualidade de Água

ANEXO A TABELA 1 - Modelos mais utilizados e suas características

Modelo	Representação espacial			Conceitualização		Representação temporal		Tipo de corpo d'água						Processos (Variáveis de estado)			
	1D	2D	3D	Empírico	Determinístico	Estacionário	Não Estacionário	Lago	Reservatório	Rio	Estuário	Costa	Patogênicos	DBO	Eutrofização	Sedimentos	Transformações químicas
AESOP	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
AQUASEA	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BATHTUB	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BFWASP	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
C3	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CE-QUAL-ICM	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CE-QUAL-R1	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CE-QUAL-RIV1	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CE-QUAL-W2	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
EFDC	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
EUTROMOD	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
GEMSS-WQM	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
GLLVHT	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
HEM1D	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
HEM2D	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
HEM3D	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
HSPF-RCHRES	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
ISIS-QUALITY	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
MIKE11-WQ	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
MIKE21-WQ	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
MIKE31-WQ	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
PHOSMOD	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
QUAL2E	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SOBEK	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
TPWQM	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
WAQ-DELFT3D	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
WASP	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

(Fonte: Pereira, 2004)