

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos**



**Dissertação de Mestrado**

**QUALIDADE DA ÁGUA DO CANAL SÃO GONÇALO-RS/BRASIL – UMA  
AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA CONSIDERANDO SEUS USOS MÚLTIPLOS**

**Mariana Farias de Souza**

**Pelotas, 2015**

**Mariana Farias de Souza**

**QUALIDADE DA ÁGUA DO CANAL SÃO GONÇALO-RS/BRASIL – UMA  
AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA CONSIDERANDO SEUS USOS MÚLTIPLOS**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós Graduação em Recursos Hídricos do  
Centro de Desenvolvimento Tecnológico  
da Universidade Federal de Pelotas,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de mestre em Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Idel Cristiana Bigliardi Milani

Pelotas, 2015

Mariana Farias de Souza

QUALIDADE DA ÁGUA DO CANAL SÃO GONÇALO-RS/BRASIL – UMA  
AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA CONSIDERANDO SEUS USOS MÚLTIPLOS

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 26 de fevereiro de 2015.

Banca Examinadora:

.....  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Idel Cristiana Bigliardi Milani (Orientadora)

Doutora em Oceanografia Física, Química e Geológica pela Universidade Federal do Rio Grande.

.....  
Prof. Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade

Doutor em Oceanografia Física, Química e Geológica pela Universidade Federal do Rio Grande.

.....  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Karina Kammer Attisano

Doutora em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande.

.....  
Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig

Doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo.

## **Agradecimentos**

À minha querida orientadora e amiga Idel, que é o meu maior exemplo de profissional e de ser humano. Obrigada por todas as oportunidades e por sempre ter acreditado em mim!

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de realização do mestrado e aperfeiçoamento profissional.

Aos meus pais por sempre me darem a segurança necessária ao longo da minha caminhada e por dedicarem suas vidas inteiramente à nossa família!

Aos meus queridos colegas de mestrado Guilherme, Gabriela, Bernardo e Fernanda pela convivência, pelo apoio, pela parceria e pela amizade nesses dois anos! Em especial à minha amiga Carol, que foi minha grande dupla no mestrado e que dividiu tantos momentos comigo!

Ao Reginaldo e ao Roberto, pelo imenso apoio técnico!

Aos alunos da Engenharia Hídrica Betina, Felipe, Gustavo, Natália e Mayla, pelo apoio nas análises e pela convivência no laboratório!

Aos professores do programa, por todo conhecimento compartilhado e em especial ao Prof. Suzuki, pela amizade e por ter despertado meu interesse pela docência!

A todos os meus amigos, que são a alegria da minha vida e em especial às minhas amigas-irmãs Aline, Yula, Fernanda e Nicole, com as quais eu sempre pude contar!

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul pela bolsa concedida.

## Resumo

SOUZA, Mariana Farias de. **Qualidade da água do Canal São Gonçalo-RS/Brasil – uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

O Canal São Gonçalo está situado na Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e faz a ligação entre a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim. É um manancial hídrico com significativa importância econômica e ambiental para a região sul do Brasil e suas águas são utilizadas para diversos fins, como abastecimento público, pesca, navegação e irrigação. O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade físico-química e microbiológica do Canal São Gonçalo, considerando variações espaciais e pluviométricas. Foram realizadas duas campanhas de amostragem, em período de baixa e de alta pluviosidade. Foram coletadas amostras de água em 22 pontos ao longo do canal e determinados 24 parâmetros físico-químicos e microbiológicos, sendo eles: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cálcio, cloreto, nitrato, transparência, coliformes totais, coliformes termotolerantes, cor verdadeira, cor aparente, sulfato, fosfato, amônia, nitrito, ferro, zinco e cromo VI. Os resultados encontrados para cada parâmetro foram comparados com a classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005. Foi realizada a análise estatística dos dados através da utilização da técnica de Análise de Componentes Principais como forma a determinar quais os principais parâmetros responsáveis pela qualidade da água do canal e identificar quais os tributários mais significativos com aporte de poluentes para o manancial em estudo. Foi verificado que a qualidade da água do Canal São Gonçalo varia tanto espacial quanto temporalmente. A variação espacial da qualidade da água demonstrou estar diretamente relacionada à condição de seus afluentes e verificou-se que muitos destes afluentes contribuem para degradação da qualidade da água do Canal São Gonçalo. Verificou-se que no período de baixa pluviosidade os parâmetros relacionados aos sólidos dissolvidos na água são os que mais contribuem para deterioração da qualidade da água. Já no período de alta pluviosidade há um aumento significativo na parcela de sólidos suspensos, relacionados a diversos outros parâmetros. Conclui-se que a qualidade da água do Canal São Gonçalo está em desacordo com seus atuais usos e que essa é uma situação que vem se agravando ao longo dos anos. Medidas de remediação devem ser tomadas para que os usos múltiplos do canal sejam garantidos.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim; recursos hídricos; análise de componentes principais.

## **Abstract**

**SOUZA, Mariana Farias de. Water quality of the São Gonçalo Channel-RS/Brazil – An hydrochemical evaluation considering its multiple uses.** 2015. 104f. Dissertation (Master Degree in Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

The São Gonçalo Channel is localized at Mirim Lagoon Watershed and connects two lagoons in southern Brazil, the Mangueira Lagoon and Patos Lagoon. It has a significant importance to southern Brazil and the channel is used to several purposes, such as water supply, fishery, navigation and irrigation. The aim of this research was access the water quality of the São Gonçalo Channel. Water samples were collected in 22 sites in two different periods, in rainy season and in dry season. The water samples were analyzed for 24 different surface water parameters: pH, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, temperature, salinity, total dissolved solids, fluoride, potassium, calcium, chloride, nitrate, transparency, total coliforms, fecal coliforms, true color, apparent color, sulfate, phosphate, ammonia, nitrite, iron, zinc and chromium VI. The results were compared with brazilian standards. The principal component analysis techniques also were applied for the results. The analysis showed that the water quality of the São Gonçalo Channel is different to each site and to each season. Different tributaries were identified that pollute the São Gonçalo Channel. The water quality parameters that are related with dissolved solids are the most significant in dry season. In rainy season there are increases in the parameters that are related with suspended solids. From this study it was concluded that the water quality of the São Gonçalo Channel is not according with current uses and the pollution is getting worse over the years. Remediation actions are necessary for maintained the multiple uses of the channel.

**Key-words:** Mirim Lagoon Watershed; water resources; principal component analysis.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Ilustração da poluição de fontes não-pontuais, de áreas agrícolas e urbanas. ....	23
Figura 2 – Ilustração da localização da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. ...	30
Figura 3 - Localização da porção brasileira da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. ....	31
Figura 4 - Hidrografia do Canal São Gonçalo e localização dos pontos amostrais.....	42
Figura 5 - Medição de parâmetros físico-químicos <i>in situ</i> . ....	45
Figura 6 - Coleta de amostra com garrafa de Van Dorn.....	45
Figura 7 - Meios de cultura para análise de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes. ....	46
Figura 8 - Transferência de amostra para frasco PEAD.....	47
Figura 9 - Valores de pH nos dois períodos pluviométricos. ....	52
Figura 10 - Valores de temperatura nos dois períodos pluviométricos.....	53
Figura 11 - Valores de transparência nos dois períodos pluviométricos. ....	54
Figura 12 - Valores de turbidez nos dois períodos pluviométricos. ....	55
Figura 13 - Valores de cor aparente nos dois períodos pluviométricos.....	57
Figura 14 - Valores de cor verdadeira nos dois períodos pluviométricos. ....	57
Figura 15 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos dois períodos pluviométricos. ....	58
Figura 16 - Valores de coliformes totais nos dois períodos pluviométricos.....	60
Figura 17 - Valores de coliformes termotolerantes nos dois períodos pluviométricos. ....	60
Figura 18 - Concentrações de amônia nos dois períodos pluviométricos. ....	62
Figura 19 - Concentrações de nitrito nos dois períodos pluviométricos. ....	62
Figura 20 - Concentrações de nitrato nos dois períodos pluviométricos. ....	63
Figura 21 - Concentrações de fosfato nos dois períodos pluviométricos. ....	65
Figura 22 - Concentrações de ferro nos dois períodos pluviométricos.....	66
Figura 23 - Concentrações de sulfato nos dois períodos pluviométricos. ....	67
Figura 24 - Concentrações de fluoreto nos dois períodos pluviométricos. ....	69
Figura 25 - Concentrações de sólidos dissolvidos totais nos dois períodos pluviométricos. ....	70
Figura 26 - Valores de salinidade nos dois períodos pluviométricos.....	71

Figura 27 - Concentrações de cálcio nos dois períodos pluviométricos.....	72
Figura 28 - Concentrações de cloreto nos dois períodos pluviométricos. ....	73
Figura 29 - Concentrações de potássio nos dois períodos pluviométricos.....	74
Figura 30 - Concentrações de zinco nos dois períodos pluviométricos.....	76
Figura 31 - Concentrações de cromo VI nos dois períodos pluviométricos.....	76
Figura 32 - Autovalores (eigenvalues) dos fatores gerados na ACP para os dados no período de baixa pluviosidade. ....	79
Figura 33 - Autovalores (eigenvalues) dos fatores gerados na ACP para os dados no período de alta pluviosidade.....	79
Figura 34 - Fator 1 versus Fator 2 (baixa pluviosidade). ....	82
Figura 35 - Distribuição dos pontos amostrais em função dos fatores 1 e 2 (baixa pluviosidade). ....	82
Figura 36 - Fator 1 versus Fator 2 (alta pluviosidade).....	86
Figura 37 - Distribuição dos pontos amostrais em função dos fatores 1 e 2 (alta pluviosidade). ....	87



## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Classificação do IQA. ....	26
Tabela 2 - Municípios brasileiros da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. ....	35
Tabela 3 - Descrição e localização geográfica dos pontos de amostragem.....	43
Tabela 4 - Metodologia analítica de análise dos parâmetros físico-químicos. .	48
Tabela 5 - Porcentagem de explicação dos Fatores 1 e 2 gerados pela ACP com diferentes rotações de eixos para os dados do período de baixa pluviosidade. ....	77
Tabela 6 - Porcentagem de explicação dos Fatores 1 e 2 gerados pela ACP com diferentes rotações de eixos para os dados do período de alta pluviosidade. ....	78
Tabela 7 - Cargas fatoriais de cada variável para os fatores selecionados dos dados de baixa pluviosidade. ....	81
Tabela 8 - Cargas fatoriais de cada variável para os fatores selecionados dos dados de alta pluviosidade. ....	85

### **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ACP	Análise de Componentes Principais
ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
GA	Gama Alta
GB	Gama Baixa
GM	Gama Média
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice do Estado Trófico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQA <sub>b</sub>	Índice de Qualidade de Água de Bascarán
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
NSF	National Sanitation Foundation
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
PCU	Unidades Platina-Cobalto
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UFC	Unidade Formadora de Colônias

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>13</b>
1.1 Objetivo Geral.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Hipóteses.....	15
<b>2 Revisão da Literatura .....</b>	<b>16</b>
2.1 Qualidade da água em bacias hidrográficas.....	16
2.2 Usos da água e legislação aplicável .....	16
2.3 Poluição e contaminação da água.....	21
2.4 Parâmetros e índices de qualidade da água.....	24
2.5 Sistemas de monitoramento de qualidade de água .....	27
2.6 Área de estudo .....	29
2.6.1 Aspectos físicos .....	32
2.6.2 Aspectos socioeconômicos .....	34
2.6.3 Canal São Gonçalo .....	36
2.6.3.1 Qualidade da água .....	37
2.6.3.2 Usos futuros.....	39
<b>3 Material e Métodos .....</b>	<b>41</b>
3.1 Rede amostral .....	41
3.2 Campanhas de amostragem.....	44
3.3 Procedimentos de campo .....	44
3.4 Procedimentos de laboratório .....	47
3.5 Ferramentas de Interpretação dos resultados .....	49
<b>4 Resultados e Discussão .....</b>	<b>51</b>
4.1 Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água.....	51
4.1.1 pH.....	52
4.1.2 Temperatura.....	53

4.1.3	Transparência e Turbidez .....	54
4.1.4	Cor aparente e Cor verdadeira.....	56
4.1.5	Oxigênio Dissolvido.....	58
4.1.6	Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes .....	59
4.1.7	Amônia, Nitrito e Nitrato .....	61
4.1.8	Fosfato .....	64
4.1.9	Ferro.....	66
4.1.10	Sulfato .....	67
4.1.11	Fluoreto .....	68
4.1.12	Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais .....	69
4.1.13	Salinidade .....	70
4.1.14	Cálcio, Cloreto e Potássio .....	72
4.1.15	Zinco e Cromo VI .....	75
4.2	Análise de componentes principais .....	77
4.2.1	Baixa pluviosidade .....	80
4.2.2	Alta pluviosidade .....	84
4.2.3	Redução de variáveis.....	88
<b>5</b>	<b>Considerações Finais .....</b>	<b>90</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>92</b>
	<b>Apêndices .....</b>	<b>99</b>

## **1 Introdução**

Os recursos hídricos são essenciais ao desenvolvimento das populações e ao longo da história têm sido um fator condicionante da localização dos núcleos urbanos e também do tipo de atividade econômica que pode ser desenvolvida em cada região. Onde havia maior disponibilidade de recursos hídricos houve maiores possibilidades de crescimento industrial e urbano, enquanto que na zona rural os recursos hídricos possibilitaram o desenvolvimento da agricultura irrigada. Problemas, porém, começaram a surgir com o aumento excessivo da demanda pela água e com a contaminação dos mananciais por efluentes e resíduos, trazendo efeitos negativos ao meio ambiente e ao homem.

Muitos corpos d'água foram tratados em todo o mundo como receptores convenientes de resíduos e muitos deles ainda continuam desta forma. Como resultado, muitos rios, lagos e zonas litorâneas tornaram-se poluídos, havendo a redução da biodiversidade e aumento dos riscos à saúde humana. Muitos poluentes da água podem ser distinguidos, tais como nutrientes, metais pesados, poluentes orgânicos tóxicos e agentes patogênicos. Além de problemas associados à poluição, a qualidade das águas é influenciada pelo uso do solo da bacia hidrográfica e também por fatores climáticos, como a temperatura do ar, os níveis de precipitação e a ocorrência de eventos extremos (KUNDZEWICZ; KRYSANOVA, 2010), tornando assim a qualidade da água como o resultado de diversos fatores, sejam eles antrópicos ou naturais.

A degradação dos recursos hídricos aumentou a necessidade de avaliar a qualidade da água a fim de, fornecer uma indicação das alterações induzidas pelas atividades antrópicas; compreender os processos naturais de uma bacia hidrográfica e; avaliar a adequação da água para os usos pretendidos. Com isso, a partir das décadas de 1960 e 1970, alguns países começaram a desenvolver programas de monitoramento de qualidade da água, que vem sendo aperfeiçoados com novas metodologias e maior eficiência até os dias de hoje (STROBL; ROBILLARD, 2008). Tanto o diagnóstico quanto o monitoramento de qualidade de água são baseados na aquisição de dados qualitativos ao longo do espaço e do tempo.

No Brasil, nem todas as bacias hidrográficas possuem sistemas de monitoramento de qualidade de água e nos locais onde existem, os dados nem sempre são disponibilizados. Considerando essa deficiência e a necessidade de um banco de dados de qualidade de água para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos, a Agência Nacional de Águas (ANA) criou a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais (RNQA) e mais recentemente lançou o Programa de Estímulo a Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA, que promove a implementação da RNQA, ou seja, ações governamentais estão sendo realizadas como forma a criar um banco de dados centralizado das variáveis de qualidade de água ao longo do país, assim como já existem séries de dados hidrometeorológicos, como de precipitação, nível e vazão de rios.

Qualquer ação de gerenciamento, de recuperação ou de proteção de um sistema hídrico, requer primeiramente um diagnóstico de sua qualidade. Dentro desse contexto, este trabalho contempla a avaliação da qualidade da água de um manancial hídrico de significativa importância ambiental e econômica para a região sul do país, o Canal São Gonçalo. Esse canal faz a ligação entre a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim, esta última se localiza na fronteira entre Brasil e Uruguai. As águas do Canal São Gonçalo são utilizadas para diversos fins, como abastecimento urbano, pesca, navegação, irrigação, recreação e extração mineral (extração de areia). Nele também deságuam importantes afluentes da região, como o Rio Piratini e o Arroio Pelotas. Por tratar-se de um sistema hídrico de grande extensão, por ele receber influência de diversas sub-bacias da região, por existirem diversas demandas de uso de suas águas e por não existir um monitoramento da qualidade de suas águas, é importante um diagnóstico da qualidade atual desse sistema.

Além disso, prevê-se na região o estabelecimento da Hidrovia do Mercosul, que tornará o Canal São Gonçalo rota para o transporte fluvial internacional de cargas, o que torna ainda mais relevante o conhecimento hidroquímico deste ecossistema como forma a melhor embasar os empreendimentos que virão associados à Hidrovia. Outra obra prevista é a construção de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) que utilizará a água do Canal para abastecimento do município de Pelotas, o que também requer conhecimento da qualidade hidroquímica do Canal. O estudo permitirá indicar

os principais componentes que influenciam na qualidade da água, bem como as mudanças que ocorrem nos diferentes regimes de chuva e ao longo de todo o canal. Auxiliará também na implantação de futuro sistema de monitoramento adequado às condições particulares desse canal.

Os resultados também poderão ser relacionados e comparados com dados pretéritos, permitindo inferir sobre as alterações ocorrentes neste ambiente ao longo do tempo e identificando possíveis fontes de poluição, auxiliando tomadas de decisão relativas às diversas atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica.

### **1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade físico-química e microbiológica do Canal São Gonçalo, considerando variações espaciais e pluviométricas.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Verificar se a qualidade da água do Canal São Gonçalo está de acordo com as finalidades a que se destina de acordo com o enquadramento da RESOLUÇÃO nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Avaliar a variabilidade espacial da qualidade da água do Canal São Gonçalo, identificando as possíveis entradas antrópicas associadas ao sistema.

Comparar a qualidade hídrica do ecossistema em situações pluviométricas contrastantes (alta e baixa pluviosidade).

Avaliar a evolução temporal da qualidade hídrica do Canal São Gonçalo.

### **1.3 Hipóteses**

As águas do sistema possuem teores dos diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em desacordo com os limites estabelecidos para o enquadramento atual da Resolução CONAMA nº 357/2005.

O aumento da pluviosidade potencializa processos de poluição em regiões próximas a atividades agrícolas, urbanas e industriais.

As águas do sistema são prioritariamente impactadas por ações antrópicas provenientes das zonas urbanas, portuárias e industriais dos municípios adjacentes ao canal.

## **2 Revisão da Literatura**

### **2.1 Qualidade da água em bacias hidrográficas**

Os recursos hídricos são a base indispensável para o desenvolvimento das sociedades, ao mesmo tempo em que é um recurso da natureza. Esse recurso condiciona, na maioria das vezes, a localização dos núcleos populacionais (CARVALHO, 2012). No Brasil, em grande parte do território nacional ainda existem graves problemas relacionados com a água, desde situações de extrema carência até o desperdício, passando por problemas de baixa qualidade (AUGUSTO et al., 2012).

A gestão dos recursos hídricos envolve dois aspectos distintos, um relativo à quantidade e o outro relativo à qualidade da água. O gerenciamento de ambos os aspectos tem como unidade principal a bacia hidrográfica. Em se tratando de qualidade de águas, esta é diretamente associada às características naturais da bacia hidrográfica e às atividades antrópicas que são desenvolvidas na mesma. Dentre as atividades antrópicas, destacam-se as atividades industriais e agrícolas (PRASAD et al., 2013).

O conceito de qualidade da água está associado aos usos para qual a água se destina. Quanto mais nobre for o uso dado à água, melhor terá que ser a sua qualidade. Essa qualidade é indicada prioritariamente através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. As legislações ambientais estabelecem limites para esses parâmetros de acordo com os diferentes usos a que esta se destina. Outra associação feita com o conceito de qualidade da água é a poluição, que altera as características naturais da água, causando um desequilíbrio em todo o sistema hídrico. Aspectos associados à qualidade da água serão abordados nos tópicos a seguir.

### **2.2 Usos da água e legislação aplicável**

Os usos da água englobam praticamente todas as atividades humanas em maior ou menor grau. Esse uso pode ser *consuntivo*, quando a água é retirada da fonte para fins como abastecimento humano, irrigação ou uso industrial, por exemplo; ou *não consuntivo*, quando não há o consumo direto da água, como em atividades como a navegação e a geração de energia elétrica. Os usos tanto consuntivos como não consuntivos podem ser divididos em



grandes grupos. Segundo Bassoi e Guazelli (2004) esses grandes grupos de uso da água podem ser divididos em:

- a) Abastecimento público: é o uso mais nobre dado a água e requer grande controle de qualidade. Engloba o consumo de água para todas as atividades essenciais do dia-a-dia, para beber e cozinhar, para higiene pessoal e para limpeza. Tirando os casos de locais isolados, a água para abastecimento público é fornecida por um órgão da administração municipal ou por uma concessionária de águas e esgotos, que é responsável pela captação, pelo tratamento, reserva e distribuição da água;
- b) Uso industrial: a água utilizada na indústria, além de ser incorporada aos produtos, também é utilizada para limpeza de matérias-primas, equipamentos e instalações, para refrigeração de equipamentos, produção de vapor em caldeiras e para reações químicas. Para cada uma das utilizações é exigida qualidade compatível. Dependendo do porte e do ramo da empresa, a água é captada de mananciais próprios ou de poços artesianos;
- c) Atividades agropastoris: contempla a utilização da água para dessedentação animal e para a irrigação, sendo que esta última é a maior fonte de consumo de água no mundo. Parte da água utilizada para irrigação retorna aos mananciais, porém um dos grandes problemas é a redução da qualidade da água pelo carreamento de solo, de fertilizantes e de agrotóxicos;
- d) Geração de energia elétrica: é um dos usos muito desenvolvidos no Brasil, tornando o país destaque no cenário mundial de produção de energia hidrelétrica. O uso da água para produção de energia elétrica não altera diretamente a sua qualidade, mas as obras associadas às usinas causam uma série de impactos que afetam o equilíbrio do ambiente e toda a vida aquática;
- e) Navegação: é um dos usos que vem se difundindo cada vez mais no Brasil e tende a expandir. Uma das principais vantagens da utilização de hidrovias é a diminuição de custos no transporte de cargas;

f) Recreação: o uso da água para recreação pode ser de duas maneiras, quando há contato direto com a água e quando não há contato direto, como é o caso dos esportes náuticos. No caso de contato direto com a água é preciso atentar para a questão da qualidade, já que pode haver a presença de microorganismos patogênicos que colocam em risco a saúde humana;

g) Preservação de fauna e flora: para esse fim, a qualidade da água também adquire essencial importância. Considerando que os ecossistemas possuem um equilíbrio, ações humanas que alteram a qualidade dos mananciais podem prejudicar e colocar em risco a vida aquática. Independente do uso que for dado à água, a preservação da fauna e da flora aquática local deve sempre ser levada em consideração;

h) Diluição e transporte de efluente: este é considerando um o uso menos nobres dado à água e que coloca em risco todos os outros. Por isso é de fundamental importância atentar para o tratamento dos efluentes e sua disposição no meio ambiente.

Braga et al. (2005) ainda incluem um outro grupo de uso da água, que é para Aquicultura, ou seja, a criação de organismos aquáticos de interesse para o homem. Para este uso a qualidade da água deve ser semelhante à necessária para preservação de fauna e flora, podendo haver algumas considerações específicas para favorecer a proliferação de certas espécies.

Com a distinção dos usos da água em grupos, fica ainda mais evidente que a quase totalidade das atividades humanas dependem direta ou indiretamente da água. O uso dos recursos hídricos pode gerar conflitos, tendo em vista que as diferentes atividades demandam água em quantidade e qualidade distintas, podendo uma atividade interferir no uso de outra. Considerando os diversos usos da água e a necessidade de preservação dos recursos hídricos, há várias décadas governos de todo mundo vem criando políticas de preservação dos recursos hídricos, além de estarem criando leis que regulam os diversos usos.

No Brasil, especificamente para os recursos hídricos, a Lei de Recursos Hídricos nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de

Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Os objetivos da PNRH são:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Para alcançar esses objetivos, os instrumentos da PNRH são:

- 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.

Em 2000, através da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da PNRH, integrante do SINGREH. À ANA cabe disciplinar a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos de gestão criados pela PNRH. A ANA desempenha ações de regulação, apoio à gestão dos recursos hídricos, de monitoramento de rios e reservatórios, de planejamento dos recursos hídricos, além de desenvolver programas e projetos e oferecer um conjunto de informações com o objetivo de estimular a adequada gestão e o uso racional e sustentável dos recursos hídricos no Brasil.

Sendo o enquadramento dos corpos de água em classes um dos instrumentos da PNRH, em 2005 foi criada a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA, que 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. Para cada classe de corpos d'água são estabelecidos limites máximos ou mínimos dos

parâmetros de qualidade de água, que chegam a aproximadamente 100 parâmetros.

O controle de lançamento de efluentes, também contemplado na Resolução CONAMA nº 357/2005, deve ser realizado para que os cursos d'água mantenham-se dentro das condições de cada classe, sendo este um instrumento de planejamento bastante interessante por estabelecer a qualidade que cada curso d'água deverá manter para atender aos usos que se destina (BRAGA et al., 2005). A Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 complementou e alterou a Resolução CONAMA nº 357/2005 em relação às condições e padrões de lançamentos de efluentes.

Muitos dos estudos realizados no Brasil em termos de qualidade de água superficial comparam as condições de qualidade da água encontradas com o que é estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005, diagnosticando a situação dos corpos d'água; investigando as possíveis causas de degradação ambiental e; propondo mecanismos para que os usos da água possam estar de acordo com sua classe. Esses estudos são de importância não só ambiental, mas política e econômica, por fornecer informações técnicas aos órgãos de gestão.

Silva e Ribeiro (2006) desenvolveram um estudo na Bacia do Rio Pirapama, no estado de Pernambuco e propuseram que para atender aos objetivos de qualidade da Classe II, seria necessário que as fontes poluidoras, nesse caso o setor dos usuários (agroindustrial e doméstico) realizassem tratamento secundário e terciário nas águas residuárias que são lançadas no Rio Pirapama. Já um estudo feito por Palhares et al. (2012) no Rio Pinhal, classificado como Classe II e localizado no estado de Santa Catarina, demonstra que o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica influenciam fortemente na qualidade das águas superficiais. Nesse caso os autores verificaram a pecuária como principal fonte de poluição possuindo forte relação com a qualidade da água encontrada.

Casarin, Neves e Neves (2008) também relacionaram o uso e ocupação do solo com a qualidade das águas superficiais na bacia Paraguai/Jauquara, no estado do Mato Grosso; sendo esta bacia enquadrada apenas como Classe III. Os autores apontam a degradação da qualidade das águas como consequência de diversas atividades, como o garimpo realizado durante muitos

anos na região, a supressão das matas ciliares e também pela intensa atividade de pescadores.

Vale resaltar que o enquadramento de um corpo hídrico não é permanente, ou seja, ele indica os usos para os quais essas águas podem ser destinadas e serve como um instrumento de gestão, podendo ser estabelecidas metas de melhor qualidade a serem alcançadas.

Vale destacar, que a Resolução CONAMA n° 357/2005 é aplicada somente aos corpos d'água superficiais. Para as águas subterrâneas, é a Resolução CONAMA n° 396, de 03 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento e dá outras providências.

Além das legislações aplicadas para o enquadramento dos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, também existem legislações que complementam essas resoluções e estabelecem padrões de qualidade da água especificamente para alguns usos. Por exemplo, a Resolução CONAMA n° 274, de 29 de novembro de 2000 define os critérios para balneabilidade, com vista à preservação da saúde e bem estar do homem quando em contato com a água.

Em termos de uso, sendo o mais nobre deles o uso para abastecimento público, a qualidade necessária para consumo humano é estabelecida pelo Ministério da Saúde, através da Portaria N° 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Essa Portaria dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Percebe-se dessa maneira que os mais diversos usos da água estão submetidos a leis, resoluções e portarias nacionais, as quais de diferentes maneiras visam garantir às atuais e futuras gerações acesso a água em quantidade e qualidade adequada.

### **2.3 Poluição e contaminação da água**

Os diversos usos da água podem causar degradação ambiental, podendo gerar poluição e/ou contaminação da mesma e até mesmo dos solos e do ar. Spiro e Stigliani (2009) destacam alguns efeitos dos diferentes usos sobre a qualidade das águas. No setor industrial, o resfriamento das usinas de força de circulação de água eleva a temperatura, podendo causar poluição

térmica com efeitos adversos para a biota das águas receptoras, além disso, em determinados processos poder haver contaminação da água com metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas. No abastecimento público, as águas residuais (esgoto doméstico/comercial) reduzem o teor de oxigênio dissolvido nos corpos receptores, perturbando o equilíbrio biológico do ecossistema. Nas atividades agropastoris, pode haver poluição tanto das águas superficiais como subterrâneas com excesso de nutrientes e pode levar a salinização do solo, quando as águas da irrigação evaporam deixando os sais concentrados no solo.

Esses são apenas alguns exemplos de poluição/contaminação dos mananciais, sendo esta uma questão mais complexa e associada aos diversos usos da água e do solo na bacia hidrográfica. Para tratar da questão da poluição e da contaminação é importante destacar a diferença entre os dois conceitos. Para Libânio (2010) *poluição* indica a ocorrência de alterações no meio aquático e, quando essas alterações colocam em risco a biota ou a saúde do ser humano que dele faz uso, a poluição passa a denominar-se *contaminação*. Na lei N° 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, o termo *poluição* é definido como:

- 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 matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Libânio (2010) destaca ainda que a poluição apresenta diferenças em função de tempo. A poluição pode ter caráter perene, acidental ou sazonal. O lançamento permanente de águas residuais em corpos d'água constitui exemplo de poluição perene, enquanto que acidentes com veículos transportadores de cargas tóxicas são exemplos de poluição acidental. Já o carreamento de agrotóxicos aos corpos d'água, oriundo das atividades agrícolas constitui-se como poluição sazonal, já que ocorre com mais intensidade em algumas épocas do ano.

Em termos de poluição, faz-se necessário também a distinção entre *fontes de poluição pontuais e não-pontuais* (difusas). Para Spiro e Stigliani (2009) as fontes pontuais são as instalações industriais e comerciais que liberam substâncias tóxicas na água. Também podem ser consideradas fontes pontuais aquelas que são facilmente identificadas e que descarregam a carga de poluentes em um único ponto, como é o caso das canalizações de esgotos urbanos. As fontes pontuais de poluição são de mais fácil controle e vem sendo reduzidas ao longo do tempo, devido às imposições feitas pelas legislações ambientais referentes ao tratamento de disposição de efluentes. Por outro lado, as fontes não-pontuais de poluição representam um problema de difícil resolução, por incluírem diversas fontes poluidoras, como as emissões provenientes dos veículos, o escoamento superficial da agricultura e o escoamento superficial urbano.

A figura 1 representa uma ilustração das fontes não-pontuais de poluição como forma a facilitar o entendimento.

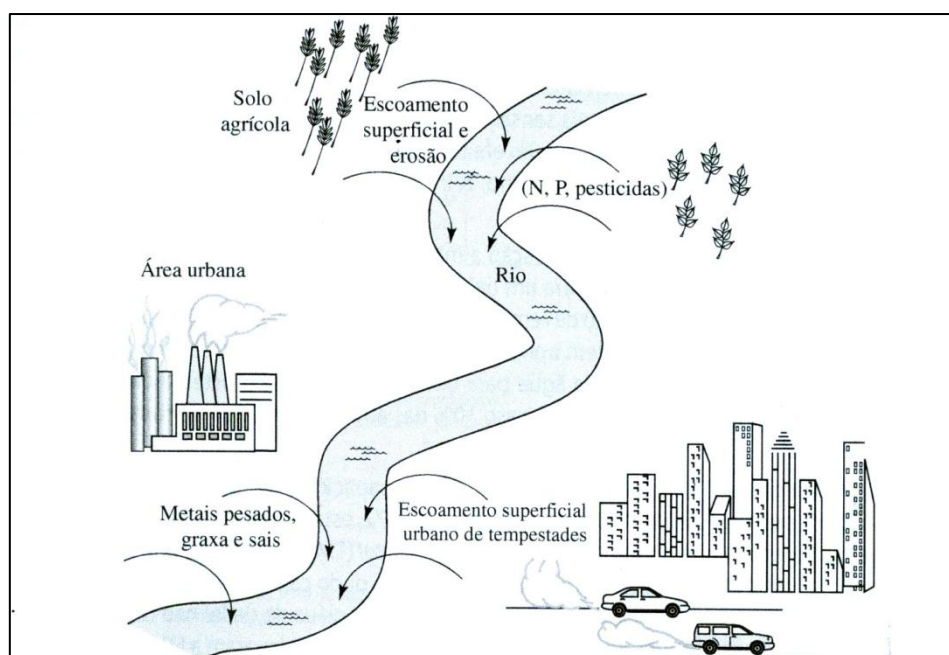


Figura 1 – Ilustração da poluição de fontes não-pontuais, de áreas agrícolas e urbanas.  
Fonte: Spiro e Stigliani (2009).

Toda a atenção que inicialmente foi dada às fontes pontuais de poluição, agora também vem sendo dada as fontes não-pontuais, pois estas últimas vem trazendo efeitos negativos a longo prazo aos mananciais e podem trazer impactos mais difíceis de serem solucionados do que aqueles causados por fontes pontuais.

## 2.4 Parâmetros e índices de qualidade da água

Na avaliação da qualidade da água utiliza-se de parâmetros indicadores, que podem ser prioritariamente físicos, químicos ou biológicos. As variáveis físicas são medidas em escalas próprias, as variáveis químicas são geralmente medidas em concentração ( $\text{mg L}^{-1}$  ou ppm). Já as variáveis biológicas são medidas em termos de densidade populacional dos organismos de interesse. Existem metodologias específicas para determinação de cada parâmetro, padronizados por entidades especializadas (BRAGA et al. 2005).

Existe uma grande variedade de parâmetros indicadores de qualidade de água que podem ser determinados, porém a escolha desses parâmetros depende dos objetivos do estudo. Na literatura sobre qualidade da água, diversos autores descrevem os parâmetros físicos, químicos e biológicos, separadamente, explicando sua origem e sua relação com a qualidade da água. Não há como citar todos os parâmetros, devido a sua grande diversidade. Porém algumas das principais características das águas naturais são citadas por Libânio (2010), sendo elas:

- a) Características físicas: temperatura, cor, turbidez, sólidos, condutividade elétrica, sabor e odor.
- b) Características químicas: pH, alcalinidade, acidez, dureza, oxigênio dissolvido, salinidade, demandas química e bioquímica de oxigênio, carbono orgânico total, compostos orgânicos, ferro, manganês, nitrogênio, fósforo, fluoretos, metais pesados, arsênio e agrotóxicos.
- c) Características biológicas: bactérias coliformes, protozoários, vírus entéricos, algas e cianobactérias.

Há uma grande relevância na determinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água de forma independente, pois permitem uma avaliação individual dos elementos que estão afetando a qualidade da água. Porém estes parâmetros, quando interpretados de forma isolada não permitem fazer uma avaliação geral dos ecossistemas aquáticos, além de serem de difícil interpretação por profissionais que não são da área ambiental. Por isso, uma metodologia bastante difundida para expressar a qualidade da água dos mananciais, são os chamados Índices de Qualidade de Água.



Esses índices também podem ser utilizados como ferramentas de gestão em redes de monitoramento. Eles não exigem um grande número de parâmetros e, além disso, são de fácil interpretação para gestores e tomadores de decisão (AKKOYUNLU; AKINER, 2012), pois expressam a qualidade da água em um único valor. Bharti e Katyal (2011) em uma revisão sobre a utilização desses índices destacam os princípios de oito importantes índices que são utilizados internacionalmente. Entre eles é citado o Índice da Qualidade da Água da *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos, que foi desenvolvido em 1970. No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou esse índice e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que incorpora 9 parâmetros relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante a utilização da água para fins de abastecimento público.

O IQA é calculado pelo produto ponderado dos parâmetros de qualidade de água: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

A seguinte equação é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação (1)}$$

em que :

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{Equação (2)}$$

em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA

A partir do cálculo do IQA estima-se a qualidade da água. O IQA pode gerar resultados de 0 a 100, sendo classificado conforme graduação a seguir:

Tabela 1 - Classificação do IQA.

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB, 2014a.

Além do IQA, a CETESB também utiliza outro importante índice quanto ao grau de trofia do corpo hídrico, que é o Índice do Estado Trófico (IET). Esse índice avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes, causadores do processo de eutrofização. Dada a importância dessa avaliação, estudos vêm contemplando a avaliação do estado trófico do corpo hídrico e fazem relação com as fontes de nutrientes causadoras do processo de eutrofização (DUARTE et al., 2008; MIZERKOWSKI et al., 2012).

Um mesmo Índice de Qualidade pode ser utilizado para diferentes países e situações, porém Bharti e Katyal (2011) reconhecem que utilizar um único índice de qualidade para avaliar a água de qualquer nação ou utilizar esse índice como solução definitiva é muito difícil e até mesmo inapropriado de acordo com a situação. Eles indicam que cada instituição, agência ou centro de pesquisa desenvolva seu próprio método, aplicável a realidade particular da região em estudo. Com essa proposta, Akkoyunlu e Akiner (2012) desenvolveram dois índices específicos para a Bacia Hidrográfica do Lago Sapanca na Turquia. Os índices ficaram compatíveis com a regulamentação nacional para o controle de poluição de água e deram bons resultados. Um número significativo de parâmetros pôde ser suprimido dos índices originais nos quais eles se basearam. Com isso os custos de monitoramento de qualidade de água também diminuíram sem que a confiabilidade do índice fosse prejudicada.

Por fim, o desenvolvimento de índices de qualidade de água tem se tornado uma alternativa vantajosa, uma vez que diminui custos, tempo e

fornece resultados de fácil interpretação. Em locais onde já existe o monitoramento de parâmetros de qualidade da água, o desenvolvimento de um índice é ainda mais indicado, pois existindo dados históricos de qualidade de água o índice poderá ser desenvolvido com maior confiabilidade.

## **2.5 Sistemas de monitoramento de qualidade de água**

A gestão dos recursos hídricos e ações de planejamento nacionais ou regionais dependem de informações confiáveis quanto a demanda e oferta de água, sendo que essa última só pode ser estimada se existirem redes de monitoramento que gerem dados que indiquem a quantidade e qualidade das águas (BRAGA; PORTO; TUCCI, 2006).

O monitoramento é definido como um conjunto de práticas que visa o acompanhamento de determinadas características de um sistema, sempre associado a um objetivo. O monitoramento da qualidade das águas naturais visa acompanhar as alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e/ou dos fenômenos naturais que ocorrem na bacia hidrográfica (ANA, 2014).

Uma boa rede de monitoramento de qualidade de água pode identificar os problemas existentes e estabelecer valores de referência para a análise de tendências de curto e longo prazo. Uma rede de monitoramento deve ser adaptada ao objetivo do estudo e ao tipo de sistema aquático (rio, lago, estuário, etc.), variando o número e a distribuição espacial dos pontos de monitoramento, bem como as frequências de amostragem de acordo com a situação. Os pontos de monitoramento devem ser representativos do sistema e o número de parâmetros deve ser o mínimo necessário para que não se perca nenhuma informação importante. Além disso, as redes de monitoramento precisam ser revisadas periodicamente e modificadas de acordo com as mudanças das condições ambientais (STROBL; ROBILLARD, 2008).

Antes de se estabelecer uma rede de monitoramento, sempre deve ser realizado o diagnóstico da situação em que se encontram os recursos hídricos, para que possam ser traçados objetivos claros para o monitoramento. Alguns autores vêm desenvolvendo pesquisas nesse sentido, a fim de subsidiar as agências governamentais na gestão dos recursos hídricos. Como exemplo um estudo de Chilundo, Kelderman e Ókeeffe (2008) propôs a criação de uma rede

de monitoramento de qualidade de água na Bacia do Rio Limpopo em Moçambique como forma de subsidiar a gestão das águas no país. Foi feito um diagnóstico da qualidade das águas, através de amostragens em diversos pontos da bacia em períodos de alta e baixa pluviosidade e da realização de análises de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. A análise dos resultados possibilitou a identificação das fragilidades da qualidade das águas da bacia e assim foi feita a indicação de uma rede de monitoramento de acordo com as necessidades para aquela bacia hidrográfica.

O ideal de um sistema de monitoramento é que ele tenha abrangência nacional e que os dados sejam padronizados e facilmente disponibilizados. No Brasil é a ANA que opera a principal rede de monitoramento hidrológico e de qualidade da água do país. A agência também divulga informações de dados das redes estaduais de monitoramento. Um dos documentos que reúne essas informações é o “Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil”, documento elaborado pela primeira vez em 2005 e com uma nova versão em 2012. Desde 2009, anualmente a ANA também produz o “Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil”, também contendo dados sobre a qualidade das águas superficiais brasileiras. Porém, esses documentos não apresentam um diagnóstico definitivo sobre o tema, pois as redes de monitoramento não cobrem todo o país e os parâmetros monitorados ainda são limitados.

As redes de monitoramento brasileiras tiveram início em 1970, quando foram implantadas as primeiras redes estaduais. Porém, ainda hoje os estados têm adotado diferentes estratégias no estabelecimento de seus programas. A distribuição dos pontos de monitoramento no território nacional é bastante desigual e concentrada em algumas regiões hidrográficas, deixando grandes lacunas em relação à distribuição dos pontos e à padronização do monitoramento da qualidade da água no Brasil (ANA, 2012a).

Diante desses problemas, a ANA lançou em 2010 o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), que objetiva oferecer à sociedade conhecimento adequado da qualidade das águas superficiais brasileiras, subsidiando os tomadores de decisão (agências governamentais, ministérios, órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente) na definição de políticas públicas para a recuperação da qualidade das águas,

contribuindo com a gestão sustentável dos recursos hídricos. O PNQA está estruturado em quatro componentes:

- 1 - Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade de Água (RNQA);
- 2 - Padronização de procedimentos e parâmetros;
- 3 - Laboratórios e capacitação;
- 4 - Avaliação e divulgação da qualidade da água;

A RNQA, um dos componentes da PNQA foi criada em 2013, por meio da Resolução ANA N° 903/2013 e tem por finalidade:

- I – analisar a tendência de evolução da qualidade das águas superficiais;
- II – avaliar se a qualidade atual das águas atende os usos estabelecidos pelo enquadramento dos corpos d'água superficiais;
- III – identificar áreas críticas com relação à poluição hídrica;
- IV – aferir a efetividade da gestão sobre as ações de recuperação da qualidade das águas superficiais e;
- V – apoiar as ações de planejamento, outorga, licenciamento e fiscalização.

Recentemente, em 2014, também foi lançado o Programa de Estímulo a Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA, através da Resolução ANA N° 1040/2014, que promove a implementação da RNQA.

A consolidação de um sistema de monitoramento de qualidade da água a nível nacional trará benefícios ambientais, sociais e econômicos, uma vez que gerará informações imprescindíveis para gestão dos recursos hídricos de maneira integrada. Sabe-se, porém, que a consolidação de uma rede nacional só ocorrerá a longo prazo, o que torna a criação de redes locais ou regionais de monitoramento indispensáveis a curto prazo.

## **2.6 Área de estudo**

O local de estudo desse trabalho é a Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim (Figura 2), que situa-se na região hidrográfica do Atlântico Sul, possuindo uma área de superfície de aproximadamente 62.250km<sup>2</sup> e se encontra na região fronteira entre Brasil e Uruguai, no extremo sul do Rio Grande do Sul. Aproximadamente 47% da sua área encontra-se em território brasileiro e 53% em território uruguaio. A bacia está dividida em oito bacias hidrográficas menores. No lado brasileiro estão localizadas as seguintes bacias hidrográficas: bacia do São Gonçalo (9.147km<sup>2</sup>); bacia do Arroio Grande

(4.080km<sup>2</sup>) e bacia do Litoral (6.416km<sup>2</sup>), onde estão localizados o Banhado do Taim e a Lagoa Mangueira, entre outras bacias menores. A localização da porção brasileira da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim pode ser melhor visualizada na figura 3. No lado uruguaio estão localizadas a bacia do Tacuary (5.143km<sup>2</sup>), a bacia do Cebollati (17.328km<sup>2</sup>), a bacia do Sarandi (1.266km<sup>2</sup>) e a bacia do São Miguel (6.933km<sup>2</sup>). Na divisa entre o Brasil e o Uruguai, está situada a bacia do Rio Jaguarão com 8.188km<sup>2</sup> (AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM, 2014).

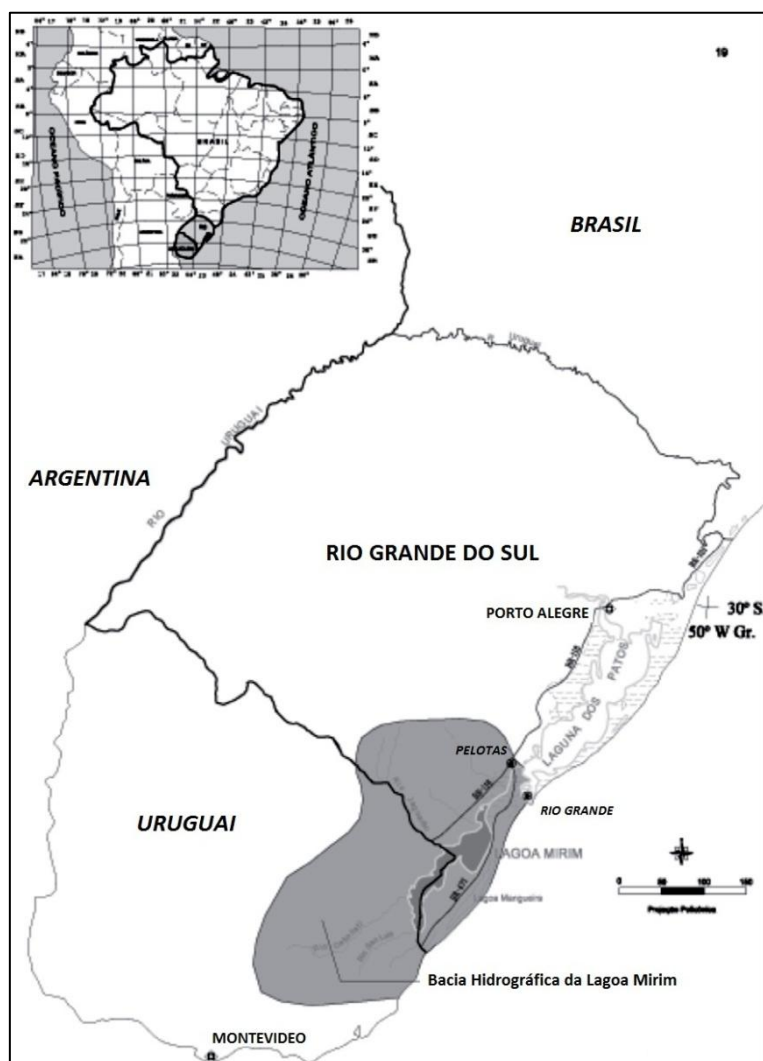


Figura 2 – Ilustração da localização da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim.  
Fonte: Adaptado de KOTZIAN e MARQUES, 2004.

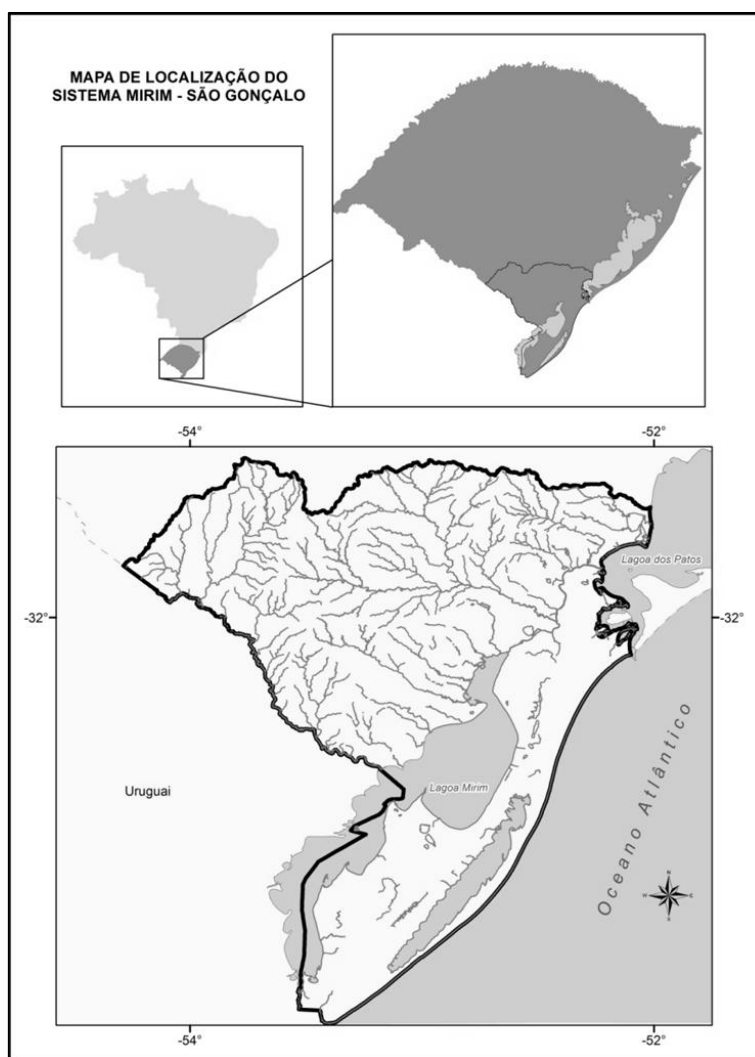


Figura 3 - Localização da porção brasileira da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim.

Essencial destacar a importância da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim não só para a região, mas para todo país. Em termos políticos e econômicos a bacia merece destaque por ter seus usos compartilhados entre Brasil e Uruguai, estando sujeita a acordos binacionais quanto a sua gestão. O primeiro tratado de cooperação entre os países ocorreu em 1977 com o *Tratado da Bacia da Lagoa Mirim*, promulgado pelo Decreto nº 81.351, de 17 de fevereiro de 1978, o qual, entre outras coisas, consolidou a Comissão Misto Brasileiro-Uruaia para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim (CLM), composta por uma Seção Brasileira e por uma Delegação Uruguia, e que atua até os dias atuais na gestão dessa bacia hidrográfica. Em termos ambientais, a bacia apresenta grande importância ecológica. A Lagoa Mirim é um dos grandes mananciais reguladores de água da região. Além disso, a lagoa e suas adjacências constituem uma típica zona de terras úmidas, sendo que esse tipo

de ecossistema é considerado um dos mais produtivos e é fonte de grande diversidade biológica, pois aporta a água e a produtividade primária que as inúmeras espécies vegetais e animais necessitam para a sua sobrevivência. Esses ecossistemas sustentam elevadas concentrações de aves, mamíferos, répteis, anfíbios, peixes e espécies invertebradas (KOTZIAN; MARQUES, 2004). Vale destacar dentro da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim o Banhado do Taim, localizado entre a Lagoa Mirim e a Lagoa Mangueira, onde está localizada desde 1986 a Estação Ecológica do Taim, que é uma unidade de conservação de grande expressão no contexto ambiental do sul do Brasil.

### **2.6.1 Aspectos físicos**

A região na qual está inserida a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim possui clima sub-tropical ou virginiano pela classificação de Köppen, tendo precipitações médias anuais entre 1.200 e 1.450mm , com temperaturas médias mensais que variam de 25° C em Janeiro a 11° C em Julho, com extremos entre - 8° e 44° C (AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM, 2014). Apesar dessa classificação climática, nem sempre a ocorrência de chuvas é bem distribuída ao longo do ano, sendo frequente a deficiência de umidade no solo devido aos períodos de estiagens, associadas a uma maior taxa de evapotranspiração na primavera e no verão.

A caracterização geoambiental da área na qual está inserida a bacia consta no projeto RADAM do IBGE (1986) envolvendo a Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim, que abrangem o território do Rio Grande do Sul abaixo da linha 28° de latitude. As características relativas a Geomorfologia, Pedologia e Vegetação dessa área foram resumidas por Gouvêa, Zarnot e Alba (2010) e são descritas a seguir:

a) Geomorfologia: A ocorrência de gerações de linhas de pedra e colúvios comprovam o reafeiçoamento contínuo das formas de relevo, em decorrência de sistemas morfogenéticos sucessivos, demonstrando o caráter poligenético do relevo. Assim, a evolução morfológica no litoral teve início no Cretáceo, com o surgimento do Oceano Atlântico Sul, admitindo que o nível do mar tivesse variações positivas de caráter generalizado e/ou localizado, que comandaram a morfogênese a partir do Terciário, ressaltando as variações glacioeustáticas no Quaternário. A origem das planícies costeiras alia-se as



sucessivas transgressões e regressões do mar há aproximadamente 6 mil anos, com atuação dos ventos na remobilização das areias das antigas praias, originando imensos campos de dunas. Identifica-se superimposição, estágios de encaixamento, direcionamento e inflexões oriundos de interferências tectônicas e processos morfogenéticos e morfoclimáticos. Sugere-se a ocorrência de fases de dissecação com encaixamento da drenagem, alternando-se com fases de degradação lateral, propiciando o aparecimento de patamares escalonados, superfícies aplanadas retocadas inundadas e exumadas. São identificadas três gerações de meandros na Depressão Central Gaúcha, separados entre si por fases de retificação dos rios, concluindo estarem relacionadas a oscilações do nível marinho. Em todas as características do relevo observam-se a predominância dos processos morfogenéticos direta ou indiretamente ligados a presença da água, como no caso das áreas de dunas ativas e de reativação eólica. Essa predominância advém do fato desses processos estarem relacionados com a morfogênese subtropical abrangendo três tipos climáticos regionais quanto ao aspecto hídrico: superúmido a úmido (1.750-2.500mm), úmido (1.200-2.000mm) e úmido e subúmido (800-1.750mm) com respectivamente 0-1, 0-4 e 0-5 meses de deficiência hídrica em cada estado.

b) Pedologia: São identificados 43 classes de solos na área, com dominância dos solos litólicos eutróficos e distróficos, ocupando cerca de 20% do total da área. Outros solos de importância significativa são os Podzólicos Vermelho-Escuros e Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos e distróficos, Latossolo Roxo distrófico, Cambissolo Bruno Húmico álico, Planossolos e terra roxa estruturada eutrófica, que totalizam, com os primeiros, mais de 60% da área total.

c) Vegetação: Originalmente cerca de 50% da superfície total dessa área eram ocupados por uma vegetação campestre, de estrutura gramíneo-lenhosa, formando as Regiões Fitoecológicas da Savana, Estepe e Savana Estépica; a vegetação florestal, ocorrente nas Regiões Fitoecológicas da Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista, possuía uma superfície de 26,6% da área total, sendo que o restante era revestido por um misto de agrupamento de vegetais herbáceos, arbustivos e arbóreos, típicos das áreas das formações

pioneiras e das áreas de tensão ecológica. Porém essa vegetação original quase não mais existe tendo sido o homem o principal modificador da cobertura vegetal original.

### **2.6.2 Aspectos socioeconômicos**

Na região da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim predominam as médias e grandes propriedades, como consequência do princípio da ocupação dessas terras no século XVIII, que teve início com as disputas entre os impérios coloniais Português e Espanhol. No início do povoamento a base da economia da região eram as charqueadas, até o período em que ocorreu a industrialização no estado e houve um processo de emigração da região. (SOSINSKI, 2009).

Atualmente uma das principais atividades desenvolvidas na bacia é a agricultura extensiva, principalmente a cultura do arroz irrigado. Em todo o estado do Rio Grande do Sul o cultivo do arroz é uma das principais atividades agrícolas. Segundo dados do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) somente na safra de 2013/2014 foram cultivados 1.115 milhão de hectares em todo o estado, sendo que os municípios da Zona Sul, que fazem parte da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, tiveram uma produção de 1.366.142 de toneladas de arroz, sendo a segunda região com maior produção do estado.

Entre as outras culturas que também são desenvolvidas na bacia destacam-se a soja, milho, feijão, batata inglesa, cebola e o fumo (SOSINSKI, 2009).

No lado brasileiro, a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim abrange as microrregiões da Zona Sul e da Campanha do Rio Grande Sul. Os municípios brasileiros que fazem parte da bacia são apresentados na tabela 2, juntamente com dados relativos à área e população.

Tabela 2 - Municípios brasileiros da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim.

<b>Município</b>	<b>Área (km²)</b>	<b>População Estimada 2014</b>
Aceguá	1.549,383	4.671
Arroio do Padre	124,317	2.871
Candiota	933,834	9.266
Canguçu	3.525,293	55.637
Capão do Leão	785,373	25.321
Cerrito	451,699	6.501
Chuí	202,552	6.320
Herval	1.757,838	6.972
Hulha Negra	822,899	6.434
Jaguarão	2.054,382	28.393
Morro Redondo	244,645	6.509
Pedras Altas	1.377,371	2.210
Pedro Osório	608,789	8.017
Pelotas	1.610,084	342.053
Pinheiro Machado	2.249,555	13.011
Piratini	3.539,688	20.664
Rio Grande	2.709,522	207.036
Santa Vitória do Palmar	5.244,353	31.524
Turuçu	253,635	3.601

Fonte: IBGE, 2014.

Pelos dados apresentados na tabela 2, observa-se que os municípios de Pelotas e Rio Grande destacam-se por serem os mais populosos entre os municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. Em termos econômicos o município de Rio Grande é caracterizado pela intensa atividade portuária e pela presença de indústrias de fertilizantes, de refino de petróleo, de processamento de pescado, de óleos vegetais e de produtos químicos. Já Pelotas destaca-se pela produção de arroz, que corresponde a aproximadamente 28% da produção do estado, além disso, o município corresponde por 10% da produção de grãos, 16% do rebanho bovino de corte, e detém a maior bacia leiteira, com a produção de 30 milhões de litro/ano, além de possuir expressiva criação de cavalos e ovelhas (PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS, 2014). No município também estão presentes entre outras, a indústria alimentícia, têxtil e metal mecânica. Outro município que se destaca na tabela 2 é o município de Santa Vitória do Palmar, por possuir a

maior área entre os municípios da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. Assim como ocorre no restante do estado o maior responsável pelo desenvolvimento do município é o plantio de arroz.

### **2.6.3 Canal São Gonçalo**

Inserido na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, o Canal São Gonçalo, objeto desse trabalho, possui uma extensão de aproximadamente 76km, com largura média de 240 metros, fazendo a ligação entre a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos (AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM, 2014). O canal é o escoadouro natural das águas da Lagoa Mirim. Porém, em alguns momentos dependendo das condições de chuva, do volume das lagoas e, da direção e força dos ventos, a direção de escoamento do canal pode ser contrária, ou seja, na direção da Laguna dos Patos para a Lagoa Mirim.

Quando o fluxo do Canal São Gonçalo está na direção da Laguna dos Patos para a Lagoa Mirim pode ocorrer o processo de intrusão salina no canal, pois a Laguna dos Patos possui ligação com o Oceano Atlântico e dependendo da época do ano ocorre a salinização da porção sul da Laguna. Antes da década de 70 alguns usos das águas do canal eram restritos devido a esse processo de salinização proveniente do estuário da Laguna dos Patos. Como forma a evitar a salinização do Canal como um todo, foi construída uma barragem no Canal São Gonçalo, distante aproximadamente 3km da cidade de Pelotas, que está em operação desde 1977 e constitui-se de uma estrutura transversal ao canal, com 245 m de comprimento e com 18 comportas basculantes. Junto à barragem, na margem esquerda do canal, foi construída uma eclusa para permitir a passagem de embarcações em quaisquer circunstâncias (GOUVÊA; ZARNOT; ALBA, 2010). Com a construção desse barramento a água do Canal São Gonçalo a montante permanece doce, o que possibilita seus diversos usos. Porém, as águas a jusante ainda são influenciadas pelo processo de salinização podendo afetar os usos e também salinizar as águas subterrâneas e os solos da região.

O Canal São Gonçalo é receptor de rios, banhados e lagoas de toda a região em que está inserido, o que pode ser visualizado na figura 4. Além disso, existem diversos canais de drenagem ao longo do Canal São Gonçalo,

que integram os sistemas de irrigação utilizados para orizicultura em toda a região.

O principal afluente do Canal São Gonçalo é o Rio Piratini, que está localizado na sua margem esquerda, tem uma extensão de aproximadamente 132km e sua nascente é localizada no município de Pinheiro Machado (TELLES, 2002). Entre os demais afluentes da margem esquerda do Canal São Gonçalo também está o Arroio Pelotas, o Canal Santa Bárbara e o Canal do Pepino. Sobre esses afluentes algumas considerações são feitas a seguir.

O Arroio Pelotas é um importante manancial da região, cuja Bacia Hidrográfica abrange os municípios de Canguçu, Morro Redondo, Arroio do Padre e Pelotas. O Arroio possui aproximadamente 71,11km de extensão e é considerado um dos maiores contribuintes da Bacia Mirim-São Gonçalo. Os usos do Arroio são diversos e contemplam entre outros o abastecimento público, a irrigação e a recreação. Apesar dos usos múltiplos o Arroio Pelotas vem sofrendo sucessivos processos de degradação ambiental, pelo despejo de efluentes domésticos e industriais e também pelas atividades agrícolas intensamente desenvolvidas na bacia (MANKE, 2014).

O atual Canal Santa Bárbara, que situa-se na zona urbana do município de Pelotas era na verdade o Arroio Santa Bárbara que foi retificado, canalizado e que com o crescimento do município vem sofrendo diversos processos de degradação, por consequência da intensa ocupação urbana e pelo despejo de efluentes domésticos e industriais (PETER, 2004). Situação semelhante ocorre com o atual Canal do Pepino. Esse canal está inserido na Bacia Hidrográfica do Arroio Pepino, que é uma das mais densamente urbanizadas de Pelotas. Assim como ocorreu com o Canal Santa Bárbara, o Arroio Pepino foi canalizado, retificado e com a intensa ocupação urbana tornou-se receptor de resíduos, que poluem o canal e prejudicam o escoamento pluvial em épocas de chuva (CARDOSO, 2012). Importante destacar que todos esses afluentes podem influenciar na qualidade da água do Canal São Gonçalo

#### **2.6.3.1 Qualidade da água**

O monitoramento da qualidade da água de uma bacia hidrográfica é essencial para propiciar seus usos múltiplos, bem como acompanhar as mudanças de qualidade ao longo do tempo e do espaço. No sentido de avaliar

os possíveis impactos de origem antrópica no Canal São Gonçalo, alguns estudos vêm sendo realizados. Coradi, Fia e Ramirez (2009) avaliaram a qualidade da água dos principais recursos hídricos do município de Pelotas, entre eles o Canal São Gonçalo, no período de 1996 a 1998, utilizando o Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQA<sub>b</sub>), no qual a escala varia de 0 a 100, indicando o aspecto da água de péssimo a ótimo, respectivamente. O resultado do índice variou para cada curso d'água nos três anos de acompanhamento, sendo que para o São Gonçalo o índice variou entre 40 e 70. O que os autores puderam perceber foi que naquele período as fontes que mais contribuíam para a poluição dos cursos d'água do município eram advindas principalmente de atividades industriais, agrícolas e portuárias. Já em 2002, Machado fez um estudo diretamente no Canal São Gonçalo avaliando a qualidade de suas águas. Através dos resultados o autor pôde apontar como fontes de poluição praticamente todos os afluentes do canal, as áreas agrícolas a montante e os efluentes urbanos que são lançados pelos municípios que o canal drena. Também foi detectado que as águas são de pior qualidade a jusante da barragem eclusa, próximo ao município de Pelotas. O autor pôde concluir que naquele momento o canal encontrava-se em um estágio inicial de degradação e que seriam necessárias ações de planejamento do uso das planícies que margeiam o canal.

Sabendo da problemática da influência das atividades agrícolas na qualidade das águas da região, Grützmacher et al. (2008) avaliaram de 2005 a 2006 a presença de agrotóxicos no Canal São Gonçalo e em um de seus afluentes, o Rio Piratini. Dos cinco agrotóxicos avaliados, quatro deles foram encontrados nas águas dos dois mananciais, associados à cultura do arroz irrigado, fortemente desenvolvida nessa região. Por outro lado, Sá (2006) desenvolveu um estudo no ano de 2005 para avaliar a qualidade da água do canal quanto à presença de substâncias mutagênicas. Os resultados demonstraram que nos pontos avaliados havia a presença de poluentes com potencial genotóxico.

Valadão et al. (2008) em um estudo sobre a coleta tratamento de esgotos do município de Pelotas demonstrou que a totalidade do esgoto urbano coletado no município, passando por tratamento ou não, acaba chegando ao Canal São Gonçalo, mesmo que indiretamente. A coleta de

esgoto é dividida por bairros e os destinos são: o Canal São Gonçalo, o Arroio Pelotas, o Canal do Pepino e o Canal Santa Bárbara, sendo que esses três últimos desembocam no Canal São Gonçalo, ou seja, todos os despejos do município acabam chegando ao manancial.

Medronha et al. (2013) no período de 2012 a 2013 avaliou a qualidade da água do Canal São Gonçalo desde a Eclusa até a desembocadura do Arroio Pelotas através do IQA e obteve resultados classificados como ruins, indicando significativa influência antrópica negativa no Canal. Já Souza et al. (2013) em uma pesquisa no mesmo trecho do Canal São Gonçalo identificou níveis de poluição críticos na confluência entre o Canal São Gonçalo e os Canais do Pepino e Santa Bárbara, identificando esses dois canais como os maiores responsáveis pela poluição no trecho avaliado.

Esses estudos demonstram a fragilidade do Canal São Gonçalo quanto a fontes de poluição e a necessidade de um monitoramento hidroquímico permanente, para que sejam indicadas e adotadas medidas de mitigação e prevenção de impactos.

#### **2.6.3.2 Usos futuros**

Os usos do Canal São Gonçalo atualmente são múltiplos e contemplam a irrigação, o abastecimento público, a pesca, a navegação, a extração de areia e a recreação. O uso para irrigação é o mais expressivo, visto a vocação agrícola da região e o predomínio de lavouras de arroz irrigado às margens do canal.

Considerando as potencialidades de usos do São Gonçalo, novos projetos vêm sendo planejados e realizados. Um deles é a utilização das suas águas para o abastecimento público de Pelotas. Assim como já existe no município de Rio Grande, Pelotas em breve terá uma Estação de Tratamento de Água (ETA) no São Gonçalo, que deve suprir o déficit no abastecimento público do município. O contrato para construção da ETA já foi assinado pela prefeitura (QUEIJO, 2014). Estima-se que a ETA vá solucionar a problemática de falta d'água no período de estiagem no município pelos próximos 30 ou 40 anos. A água será captada acima da Barragem Eclusa do Canal São Gonçalo, sendo que as obras tem previsão de término para o ano de 2016.

Outro grande projeto que envolve o canal e está previsto há anos, é a Hidrovia Brasil Uruguai (Hidrovia do Mercosul). O projeto prevê uma hidrovia constituída pelos rios Jacuí e Taquari, Lagoa dos Patos, Lago Guaíba, seguindo pelo Canal São Gonçalo e Lagoa Mirim, até o Uruguai. A hidrovia, ligada a ferrovias que já existem tanto no Brasil quanto no Uruguai, deve servir para escoamento da produção da região. O projeto da Hidrovia do Mercosul envolve um grande volume de recursos e depende de obras portuárias no lado brasileiro e no lado uruguaio.

Dessa maneira o Canal São Gonçalo é um manancial estratégico para a região, mas que tem a qualidade de suas águas fortemente ameaçada por processos de poluição, necessitando de um contínuo monitoramento, para que seus múltiplos usos sejam assegurados.



### **3 Material e Métodos**

O presente estudo foi realizado em diferentes etapas, contemplando a definição da rede de amostragem, a coleta de amostras em campo, as determinações analíticas *in situ* e em laboratório até o tratamento dos dados relativos aos diferentes parâmetros de qualidade de água, etapas estas que são detalhadas a seguir.

#### **3.1 Rede amostral**

A rede de amostragem visou contemplar áreas de influência natural e antrópica à qualidade hídrica do Canal São Gonçalo. Dentre essas influências a rede contemplou zonas de influência de afluentes, de canais de drenagem, de empreendimentos localizados às suas margens e de despejos urbanos, rurais e industriais de diferentes regiões do município de Pelotas e de municípios adjacentes.

Baseado nestes critérios foram definidos 22 locais distribuídos desde a Lagoa Mirim até próximo à desembocadura do Canal São Gonçalo na Laguna dos Patos, conforme pode ser visualizado na figura 4.

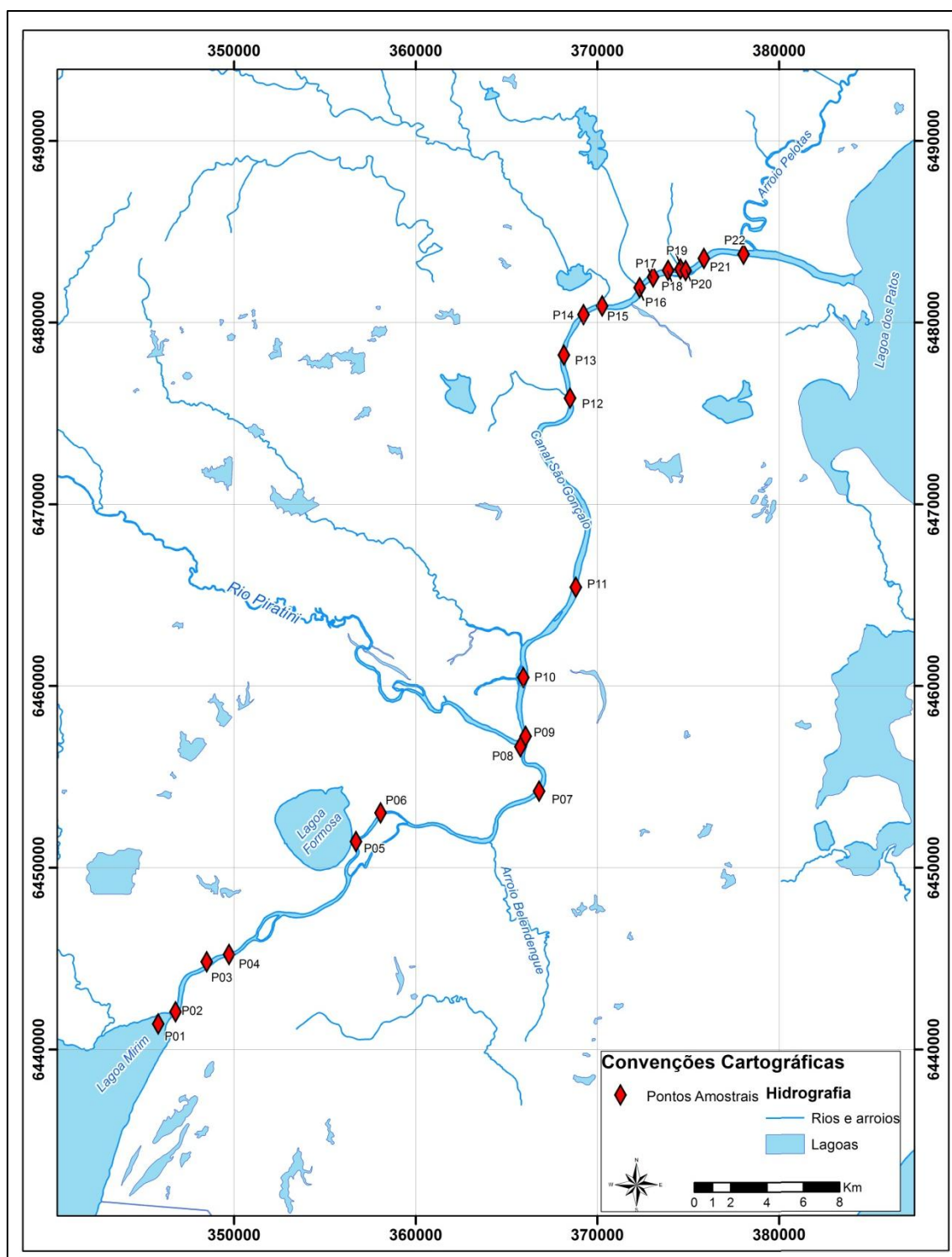


Figura 4 - Hidrografia do Canal São Gonçalo e localização dos pontos amostrais.

Para melhor compreensão dos locais de amostragem, a tabela 3 apresenta um detalhamento dos mesmos, incluindo breve descrição e localização geográfica de cada local.

Tabela 3 - Descrição e localização geográfica dos pontos de amostragem.

Ponto	Descrição	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
P01	Desembocadura da Lagoa Mirim	345.827.913	6.441.402.081
P02	Desembocadura do Arroio Sangradouro	347.029.213	6.441.938.777
P03	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	348.492.214	6.444.818.536
P04	Vila de Santa Izabel (Município de Arroio Grande)	349.728.331	6.445.225.884
P05	Conexão entre o Canal São Gonçalo e a Lagoa Formosa	356.709.727	6.451.438.143
P06	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	358.071.133	6.453.022.522
P07	Canal de abastecimento de água do município de Rio Grande	366.931.923	6.454.161.807
P08	Desembocadura do Arroio Contrabandista	365.765.269	6.456.659.877
P09	Desembocadura do Rio Piratini	365.460.059	6.456.902.781
P10	Ilha das Moças	365.415.748	6.460.458.904
P11	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	369.018.970	6.465.460.261
P12	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	368.663.693	6.475.797.523
P13	Montante da Barragem-Eclusa	368.154.310	6.478.212.009
P14	Jusante da Barragem-Eclusa	369.236.850	6.480.440.494
P15	Desembocadura do Arroio Fragata	370.280.950	6.481.219.162
P16	Desembocadura do Canal Santa Bárbara	371.828.086	6.482.374.629
P17	Atracadouro de barcos (Quadrado)	373.063.979	6.482.760.909
P18	Porto de Pelotas	373.889.995	6.482.867.292
P19	Desembocadura do Canal do Pepino	374.565.610	6.482.944.615
P20	Universidade Federal de Pelotas	374.851.430	6.482.858.510
P21	Canal de drenagem urbano do município de Pelotas	375.885.432	6.483.672.155
P22	Desembocadura do Arroio Pelotas	377.998.657	6.484.665.044

Mediante as informações constantes na tabela 3 percebe-se que dos 22 locais de amostragem, 13 locais estão situados em desembocaduras de rios, arroios ou canais os quais se entende como significativas influências na qualidade do Canal São Gonçalo. A rede amostral também contemplou uma grande obra hidráulica da região, a Eclusa do Canal São Gonçalo, tendo sido incluídos dois pontos de amostragem, sendo um a montante e outro a jusante da mesma, visando verificar a influência desta obra na qualidade do canal e as diferenças de qualidade das águas do Canal São Gonçalo em função deste barramento. Além destes locais também foram incluídos na rede amostral

outros locais de possível influência antrópica na região, como por exemplo, a Universidade Federal de Pelotas e o Porto de Pelotas.

### 3.2 Campanhas de amostragem

Para avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo foram realizadas duas campanhas de amostragem no ano de 2013, contemplando períodos hidrológicos distintos como forma a confrontar diferentes processos ocorrentes na bacia hidrográfica. A primeira amostragem foi realizada no outono, no dia 16 de abril, caracterizando período de baixas taxas pluviométricas. Já a segunda amostragem foi realizada na primavera, no dia 05 de novembro, caracterizando período de altas taxas pluviométricas. Foi considerada a precipitação dos 30 dias anteriores a cada coleta. Os dados de precipitação foram consultados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) considerando estações pluviométricas presentes nos municípios de Pelotas, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar.

### 3.3 Procedimentos de campo

As campanhas de amostragem foram realizadas com a embarcação RHIMA I do curso de Engenharia Hídrica/PPG Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pelotas. Foram utilizadas planilhas de campo para registrar informações gerais do ambiente em estudo, como condições climatológicas e características de uso e ocupação das margens. As coordenadas geográficas dos pontos de amostragem foram obtidas com um aparelho GPS GARMIN GPSMAP®.

Foram utilizadas duas sondas multiparamétricas Horiba® modelo W-22XD.23XD (Figura 5) para medir *in situ* 12 (doze) parâmetros físico-químicos. As sondas foram calibradas previamente em laboratório com soluções próprias adquiridas do próprio fabricante. Cada sonda possui sensores fixos de 7 parâmetros físico-químicos e 3 eletrodos de íons seletivos variáveis. A utilização de duas sondas foi feita como forma a permitir a determinação de um maior número de parâmetros simultaneamente. Desta forma, os parâmetros medidos *in situ* foram: pH, Condutividade Elétrica, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Salinidade, Sólidos Dissolvidos Totais, Fluoreto, Potássio, Cálcio, Cloreto e Nitrato. As medidas foram feitas a 1m de

profundidade. Esses dados foram armazenados nas próprias sondas e posteriormente foram transferidos para um computador, com a utilização de um software específico das sondas multiparamétricas.



Figura 5 - Medição de parâmetros físico-químicos *in situ*.

A transparência do Canal São Gonçalo nos diferentes pontos de amostragem foi determinada mediante a utilização de um disco de Secchi. O disco foi mergulhado no local até o seu desaparecimento, momento em que foi anotada a profundidade e. Após, o disco foi erguido lentamente até o seu ressurgimento, e a profundidade foi anotada novamente. A média dessas duas medidas foi considerada como o valor da transparência da água.

Nos locais de amostragem foram coletadas amostras de água simultaneamente às determinações *in situ* realizadas com as sondas multiparamétricas. As amostras foram coletadas também a 1m de profundidade com uma garrafa coletora de Van Dorn (Figura 6) de acrílico com capacidade de 2 litros.



Figura 6 - Coleta de amostra com garrafa de Van Dorn

Com a primeira alíquota retirada da garrafa coletora foi realizado procedimento para determinação dos Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes presentes nos locais de amostragem. Esta determinação foi realizada mediante a utilização do kit microbiológico Colipaper® marca Alfakit (Figura 7). Para o manuseio do meio de cultura, foram utilizadas luvas individuais descartáveis e antes de vestir as luvas foi realizada a assepsia das mãos com álcool etílico 96°GL. Com parcela da amostra, foi realizado o umedecimento do meio de cultura e imediatamente o seu armazenamento na embalagem própria do kit. A amostra foi armazenada sob refrigeração até a chegada ao laboratório, onde foi incubado a 37°C por 15 horas. Depois desse período foi feita a contagem das unidades formadoras de colônias de acordo com procedimentos indicados pelo fabricante.



Figura 7 - Meios de cultura para análise de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes.

Sub amostras foram coletadas para posterior determinação de diversos parâmetros físico-químicos em laboratório como forma a complementar a caracterização das águas superficiais da região em estudo. Estas sub amostras foram retiradas da garrafa coletora e transferidas para frascos de Polietileno de alta densidade (PEAD) com capacidade de 0,5 litros, previamente limpos com ácido clorídrico 0,1M e água Milli-Q (Figura 8).





Figura 8 - Transferência de amostra para frasco PEAD.

Os frascos foram ambientados três vezes com a própria amostra antes do seu volume ser preenchido. Após este procedimento os frascos contendo as amostras foram armazenados em um compartimento térmico da própria embarcação juntamente com sacos de gelo, para que estas se mantivessem resfriadas até a chegada ao laboratório como forma a manter suas características preservadas.

### 3.4 Procedimentos de laboratório

Após os procedimentos de amostragem, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Hidroquímica e Metais do Curso de Engenharia Hídrica/PPG Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pelotas. Sobre essas amostras foram determinados outros 9 (nove) parâmetros físico-químicos, sendo eles Cor Verdadeira, Cor Aparente, Sulfato, Fosfato, Amônia, Nitrito, Ferro, Zinco e Cromo VI. Para a análise desses parâmetros foi utilizado um Fotômetro de bancada multiparamétrico da marca Hanna Instruments, modelo HI83200. Para cada parâmetro foram utilizados reagentes específicos, líquidos ou em pó, em uma quantidade precisa para cada amostra. Em cada análise foram adotadas medidas com relação à diluição dos reagentes, agitação da amostra e tempo de reação. Dependendo da concentração dos parâmetros, as análises foram feitas em diferentes faixas de concentração, sendo elas Gama Baixa (GB), Gama Média (GM) ou Gama Alta (GA), todas no mesmo equipamento. A escolha da faixa de trabalho se deu de acordo com a amostra e possibilitou maior precisão nos resultados. Todos os procedimentos realizados, bem como

os reagentes utilizados seguiram uma metodologia própria do Fotômetro multiparamétrico, as quais são especificadas a seguir.

Tabela 4 - Metodologia analítica de análise dos parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Método
Cor verdadeira	Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., método Colorimétrico de Cobalto de Platina.
Cor aparente	Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., método Colorimétrico de Cobalto de Platina.
Sulfato	O Sulfato é precipitado com cristais de cloreto de bário. A absorbância de luz da suspensão é medida.
Fosfato	GA Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., método Aminoácido. A reação entre o fosfato e os reagentes causa uma coloração azul na amostra.
	GB Adaptação do método Ácido Áscórbico. A reação entre o fosfato e o reagente causa uma coloração azul na amostra.
	GM Adaptação do ASTM Manual of Water e Environmental Technology, D1426-92, método Nessler. A reação entre a amônia e os reagentes causa uma coloração amarela na amostra.
Amônia	GB Adaptação do ASTM Manual of Water e Environmental Technology, D1426-92, método Nessler. A reação entre a amônia e os reagentes causa uma coloração amarela na amostra.
	GA Adaptação do método Sulfato Ferroso. A reação entre o nitrito e o reagente causa uma coloração esverdeada-castanha na amostra.
Nitrito	GB Adaptação do método Diazotação 354.1 da EPA. A reação entre o nitrito e o reagente provoca uma coloração rosa na amostra.
	GA Adaptação do método EPA de Fenantrolina 315B, para águas naturais e tratadas. A reação entre o ferro e os reagentes causa uma coloração laranja na amostra.
Ferro	GB Adaptação do Método TPTZ. A reação entre o ferro e o reagente causa uma coloração violeta na amostra.
Zinco	Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., Método Zinco. A reação entre zinco e os reagentes causa uma coloração laranja a violeta escuro na amostra.
Cromo VI	GA Adaptação do ASTM Manual of Water e Environmental Technology, D1687-92, método Difenilcarbohidrazida. A reação entre o cromo VI e o reagente causa uma coloração roxa na amostra.
	GB Adaptação do ASTM Manual of Water e Environmental Technology, D1687-92, método Difenilcarbohidrazida. A reação entre o cromo VI e o reagente causa uma coloração roxa na amostra.

Fonte: HANNA INSTRUMENTS.



Além dos parâmetros que foram determinados diretamente, outros foram determinados de maneira indireta, pela conversão que o próprio fotômetro realiza, indicando concentrações de outras espécies químicas do mesmo elemento, sendo eles: fósforo e pentóxido de fósforo (derivados da medida de fosfato); nitrogênio amoniacal e amônio (derivados da medida de amônia); nitrito de sódio e nitrogênio do nitrito (derivados da medida de nitrito).

### **3.5 Ferramentas de Interpretação dos resultados**

A interpretação dos resultados foi feita em duas etapas. A primeira delas consistiu em avaliar a variação temporal e espacial de cada parâmetro em separado, comparando os resultados encontrados com a Resolução CONAMA nº 357/2005. A segunda etapa consistiu na análise estatística dos dados. Inicialmente foi realizada uma análise estatística básica envolvendo o cálculo de médias e de desvios. Também foi utilizada a estatística multivariada, através técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) mediante a utilização do Software Statistica® versão 7.0.

Diversos autores vêm utilizando estatística multivariada em estudos de qualidade da água, para avaliarem a importância de cada parâmetro hidroquímico na qualidade do ambiente em estudo (MILANI, 2004; REPULA; QUINÁIA, 2009; MENDONÇA; SOUZA, 2011; GUEDES et al., 2012; BERTOSSI et al., 2013).

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados separadamente para cada campanha amostral, ou seja, a análise estatística foi feita para dois conjuntos de dados, que representam a condição do canal em períodos distintos, em alta e baixa pluviosidade.

Na utilização da técnica de ACP foi seguida uma série de etapas. Primeiramente, para eliminar a diferença de escala entre as variáveis, os dados foram auto-escalados pela equação:  $\text{Log}(x+1)$ . Com os dados padronizados foi montada uma matriz, em que as variáveis ficaram nas colunas, e as amostras nas linhas. Essa matriz foi inserida no Software Statistica® versão 7.0 e então foi gerada uma matriz de correlação (Apêndices C e D), a qual mostra as intercorrelações entre as variáveis. A partir da matriz de correlação foram

obtidas as componentes principais com cargas fatoriais associadas às variáveis em estudo.

Foi utilizado como critério para extração dos fatores (componentes) mais representativos o critério da Raiz Latente, onde apenas os fatores que tem autovalores maiores que 1 foram considerados como significantes (HAIR JR. et al., 2005).

## **4 Resultados e Discussão**

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas dos dois períodos avaliados, bem como os resultados das análises estatísticas básicas (mínimo, máximo, média e desvio padrão) encontram-se nos apêndices A e B.

Para melhor compreensão da variação da qualidade da água do Canal São Gonçalo temporal e espacialmente, os resultados e discussão estão divididos em dois tópicos. No primeiro são apresentados em forma de gráficos os resultados analíticos de todas as variáveis, de ambos os períodos pluviométricos, dos 22 pontos amostrais, possibilitando a interpretação mais detalhada de cada variável.

No segundo tópico é apresentado o resultado da análise estatística multivariada, pela qual é possível identificar as variáveis mais representativas do ambiente de estudo, assim como aqueles que contribuem de forma menos significativa para avaliação da qualidade da água.

### **4.1 Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água**

A Resolução CONAMA nº 357/2005 foi utilizada como referência para avaliação dos resultados dos parâmetros que são contemplados nessa legislação. Comparou-se os resultados com os limites da Classe 2, já que ainda não existe uma proposta de enquadramento do Canal São Gonçalo e considerando que os atuais e futuros usos deste ambiente melhor se enquadram nessa classe. Segundo a Resolução, as águas doces classificadas como Classe 2 podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e a aquicultura e a atividade de pesca. As águas também podem ser utilizadas para fins menos exigentes desde que não prejudique a qualidade da água.

Outros autores também consideram a Classe 2 na avaliação da qualidade da água de rios brasileiros que ainda não estão sob enquadramento (BORGES, 2007; OLIVEIRA; CUNHA, 2014). A seguir são apresentados e

discutidos os resultados dos 24 parâmetros de qualidade de água avaliados no presente estudo para o ecossistema.

#### 4.1.1 pH

Em praticamente todos os estudos ambientais de qualidade de água o parâmetro pH é determinado, já que ele interfere nos fenômenos químicos da água e no metabolismo dos organismos aquáticos.

Em ambientes naturais, valores de pH afastados da neutralidade exercem influência sobre a toxicidade de alguns elementos químicos, como por exemplo, os metais pesados, cujos compostos em meio ácido tendem a se redissolver, tornando-se mais tóxicos e biodisponíveis (VINATEA ARANA, 1997 apud BAUMGARTEN; POZZA, 2001)

Para o Canal São Gonçalo, a variação desse parâmetro pode ser observada na figura 9.

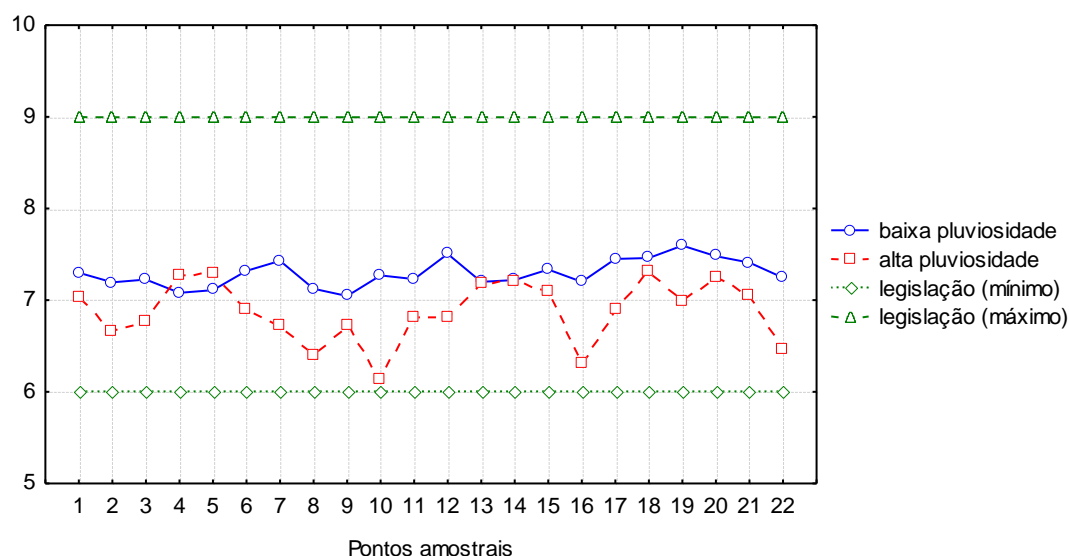


Figura 9 - Valores de pH nos dois períodos pluviométricos.

A média de pH observada no Canal São Gonçalo foi de 7,6 no período de baixa pluviosidade e 6,8 no período de alta pluviosidade. Essa diferença entre os períodos pode ser devido a diversos fatores como a decomposição de uma maior carga de matéria orgânica que pode chegar até o manancial em períodos chuvosos, e que tende a reduzir o pH. Porém, mesmo com essa diferença, o pH manteve-se em todos os pontos dentro da faixa da neutralidade

de acordo com legislação, essa que estabelece um valor mínimo de 6,0 e um valor máximo de 9,0 para ambientes classe 2.

#### 4.1.2 Temperatura

A temperatura, assim como pH é um dos parâmetros usualmente monitorados em estudos de qualidade de água, por ser um parâmetro que interfere fortemente nas reações químicas, por estar relacionada com a solubilidade dos gases e também por afetar diretamente a vida dos organismos aquáticos.

A variação de temperatura no Canal São Gonçalo pode ser visualizada na figura 10. A campanha amostral do período de baixa pluviosidade foi realizada no mês de abril de 2013, no outono. Neste momento, a temperatura média do manancial foi de 17,2 °C, com valor mínimo de 16,0°C e máximo de 18,2°C, estando a temperatura do em torno de 20,0°C a sombra. Já a campanha amostral correspondente ao período de alta pluviosidade foi realizada no mês de novembro de 2013, na primavera, sendo que nessa época a temperatura já estava mais elevada e a temperatura do ar era de 23,0°C a sombra. Nesse dia a temperatura do manancial ficou com média de 20,3°C, mínimo de 19,5°C e máximo de 22,8°C.

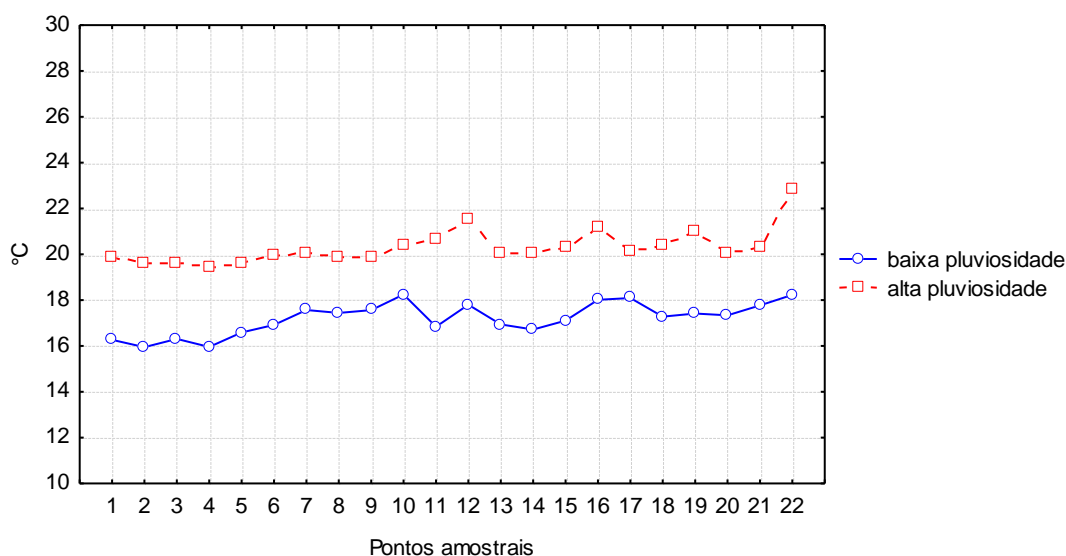


Figura 10 - Valores de temperatura nos dois períodos pluviométricos.

A diferença da média de temperatura entre as duas campanhas amostrais se deu em função da própria temperatura do ar. Já a variação entre

os pontos amostrais pode estar relacionada ao fato de que as medidas de temperatura foram feitas nas desembocaduras dos canais afluentes aos São Gonçalo, ou seja, cada um desses afluentes por suas próprias características de profundidade, sedimento de fundo e transparência, apresentam diferenças de temperatura, o que reflete, mesmo que minimamente, na temperatura do Canal São Gonçalo.

#### 4.1.3 Transparência e Turbidez

Os parâmetros transparência e turbidez, avaliados em mananciais, referem-se à intensidade de luz que penetra na coluna d'água, sendo estes inversamente proporcionais. A turbidez representa a presença de partículas suspensas na água que podem estar associadas à presença de plâncton, bactérias e outros microorganismos, argila, silte, além de partículas finas associadas a diferentes fontes de poluição (MACÊDO, 2007). Quanto maior for a turbidez, mais difícil será a passagem de luz pela coluna d'água e consequentemente a transparência será menor afetando a entrada de luminosidade nos mananciais e consequentemente as reações ocorrentes no meio.

As variações dos parâmetros transparência e turbidez determinados para o Canal São Gonçalo nos dois períodos avaliados (alta e baixa pluviosidade) são apresentadas nas figuras 11 e 12 respectivamente.

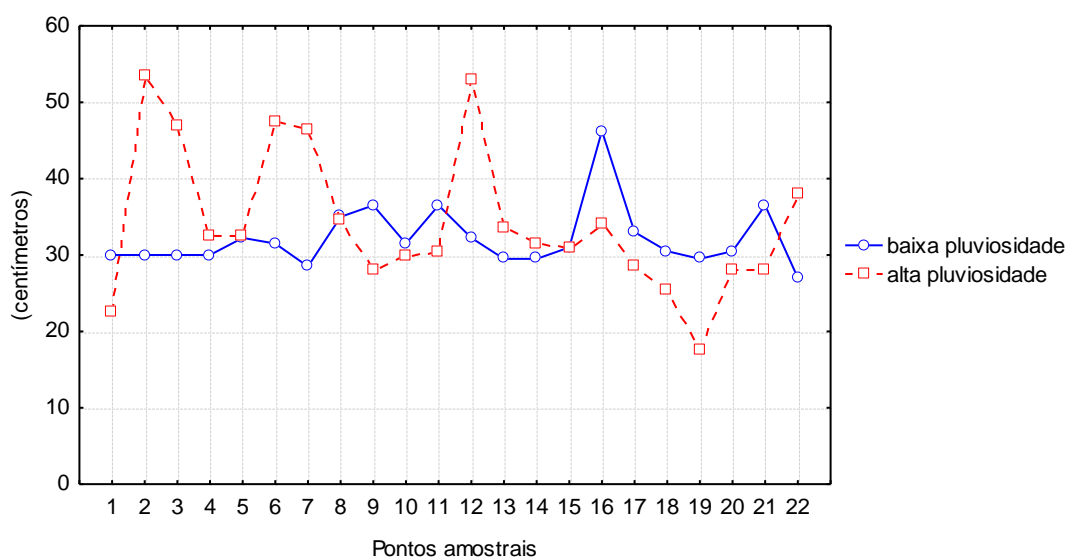


Figura 11 - Valores de transparência nos dois períodos pluviométricos.

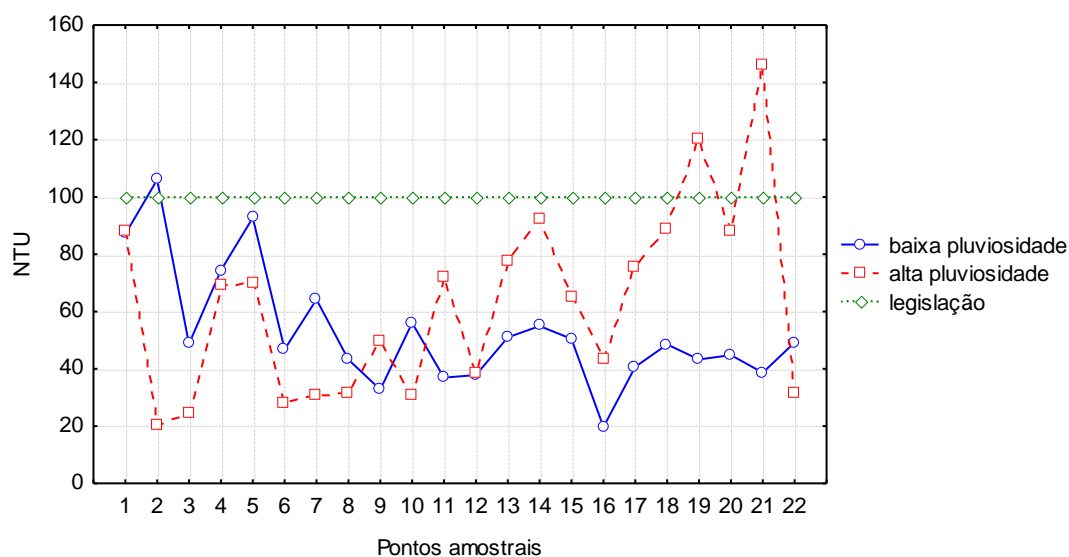


Figura 12 - Valores de turbidez nos dois períodos pluviométricos.

Os resultados encontrados para os teores de transparência e turbidez (Figuras 11 e 12) demonstram que existe uma variação maior destes parâmetros no período de alta pluviosidade. Além disso, no período de alta pluviosidade os pontos P19 e P21, onde os valores de turbidez ultrapassaram o limite da legislação, correspondem à desembocadura de canais de drenagem da zona urbana do município de Pelotas. No período de baixa pluviosidade, o local que teve turbidez acima dos limites situa-se próximo a Lagoa Mirim, na desembocadura do Arroio Sangradouro. Nota-se também que na confluência entre a Lagoa Mirim e o Canal São Gonçalo (P01) foram encontrados baixa transparência e alta turbidez em ambos os períodos, o que indica que as águas da Lagoa podem conter maiores teores de sólidos em suspensão do que no canal. Segundo Libânio (2010) no Brasil a turbidez dos corpos d'água é particularmente elevada em regiões com solos erodíveis, onde as precipitações podem carrear partículas de silte, areia e argila para dentro dos mananciais, além de grande parte dos rios brasileiros serem naturalmente turvos em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, dos índices pluviométricos e do uso de práticas agrícolas muitas vezes inadequadas.

Dados de turbidez obtidos por Machado (2002) para alguns pontos do canal que culminam com os deste trabalho, apresentaram valores de turbidez no ano de 2001 em torno de 30 a 60 NTU. No presente trabalho os valores

encontrados foram maiores em alguns pontos, chegando ao máximo de 146 NTU.

A avaliação de um maior número de parâmetros auxilia na gestão dos mananciais, entretanto diversos custos e gasto de tempo estão associados a determinação desses parâmetros. Nesse trabalho, como era esperado, a correlação negativa entre a transparência e a turbidez demonstrou que com a avaliação de apenas um desses parâmetros já seria possível identificar as diferenças entre os pontos amostrais, mas já que a turbidez é contemplada na legislação e é um parâmetro usualmente utilizado por outros autores principalmente em rios, esse é um dos parâmetros imprescindíveis de se avaliar no Canal São Gonçalo.

#### **4.1.4 Cor aparente e Cor verdadeira**

A cor é um parâmetro físico da água que se origina a partir de sólidos, que podem ter origem através da decomposição da matéria orgânica que libera compostos orgânicos complexos, como ácidos húmicos e fúlvicos, ferro e manganês (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). A diferença entre cor aparente e cor verdadeira é que a primeira é determinada na amostra original, sem tratamento, ou seja, todos os sólidos presentes conferem cor aparente à água. Já a cor verdadeira é determinada após a filtração/centrifugação da amostra, restando apenas a porção de sólidos dissolvidos, com diâmetro inferior à 1,2 µm. A legislação brasileira refere-se apenas a cor verdadeira, estabelecendo um limite máximo de 70 mg Pt/L (ou unidades platina-cobalto).

A variação dos parâmetros cor aparente e cor verdadeira pode ser visualizada nas figuras 13 e 14, respectivamente.



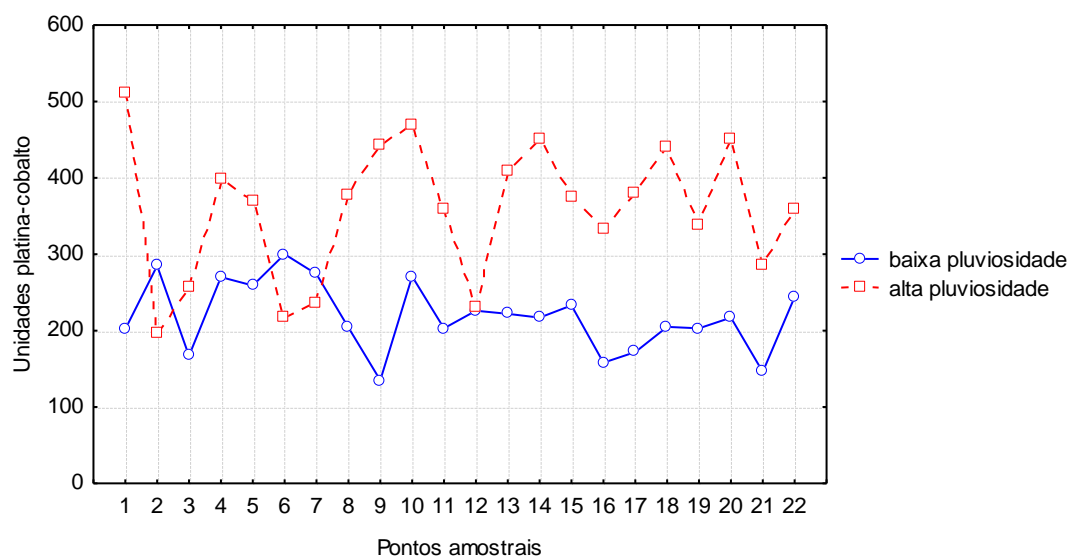


Figura 13 - Valores de cor aparente nos dois períodos pluviométricos.

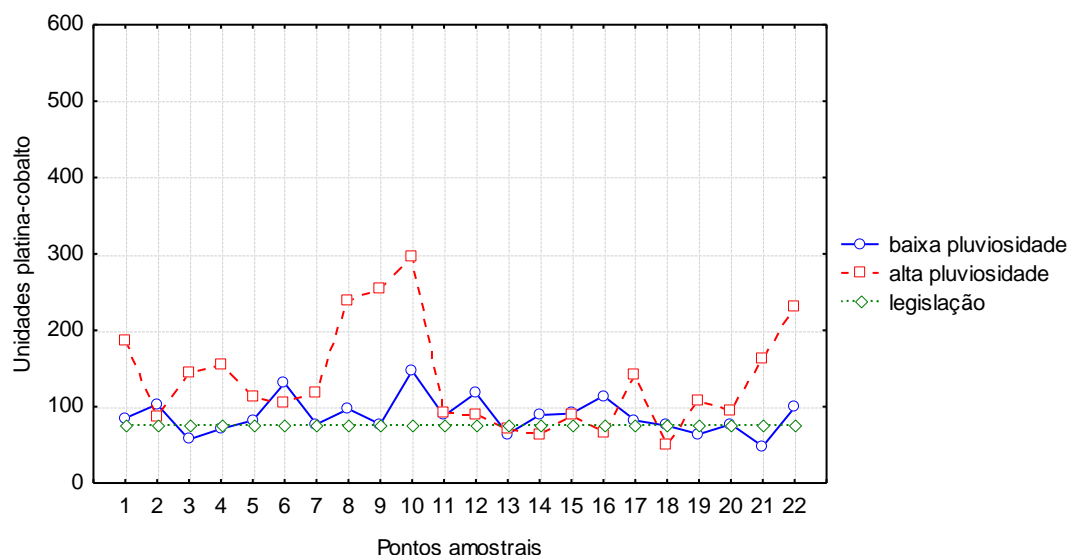


Figura 14 - Valores de cor verdadeira nos dois períodos pluviométricos.

Percebe-se que tanto a cor aparente quanto a verdadeira apresentaram altos valores principalmente no período de alta pluviosidade, demonstrando que pela ação da chuva, uma grande quantidade de sólidos é trazida para dentro do manancial. Além disso, a diferença entre os locais foi grande, ou seja, esse é um parâmetro que varia muito ao longo do canal, não sendo observada uma tendência clara em relação aos locais. A cor verdadeira ultrapassou os limites da legislação na maioria dos pontos em ambos os períodos pluviométricos. O motivo para a elevada cor da água do canal deve-se principalmente ao fato de as suas margens serem zonas alagadiças, o que

propicia ao maior aporte de matéria orgânica de origem vegetal para dentro do canal. Assim como a turbidez, a cor interfere na penetração de luz na coluna d'água, interferindo nos processos químicos e biológicos que ocorrem no ambiente.

Os valores elevados de cor no canal podem trazer problemas quanto à utilização dessa água para abastecimento público, elevando os custos no seu tratamento e até mesmo podendo causar danos à saúde, dependendo da origem. Caso a cor seja proveniente de matéria orgânica, isto pode conferir sabor e odor à água, além disso, se a cor e a turbidez não forem removidas adequadamente, pode haver a formação subprodutos cancerígenos, caso a água seja clorada, como por exemplo, os trihalometanos citados por Libânio (2010). Dessa maneira, esses dois parâmetros devem ser levados em consideração para os atuais usos da água, já que o município de Rio Grande é abastecido com a água do canal e, também para os futuros usos, que contempla a captação da água do São Gonçalo para abastecimento do município de Pelotas.

#### 4.1.5 Oxigênio Dissolvido

Os teores de oxigênio dissolvido encontrados no Canal São Gonçalo são apresentados na figura 15.

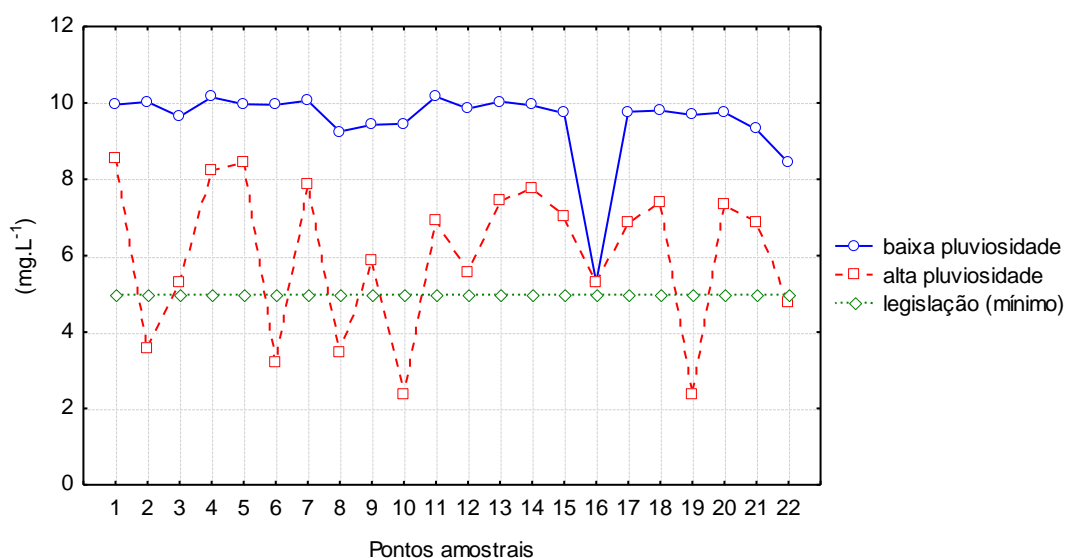


Figura 15 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos dois períodos pluviométricos.

Observam-se tendências completamente distintas do período de baixa para o de alta pluviosidade para o parâmetro oxigênio dissolvido. As concentrações de oxigênio dissolvido no período de baixa pluviosidade mantiveram-se semelhantes entre os pontos, excetuando-se o P16, que corresponde a desembocadura do Canal Santa Bárbara. Estudos já demonstraram o alto grau de poluição desse canal (SIMON et al., 2003; SANCHES FILHO et al., 2009; NAGEL et al., 2014) e por isso valores baixos de oxigênio dissolvido já eram esperados nesse local. Já no período de alta pluviosidade não foi possível perceber uma tendência clara quanto a variação desse parâmetro nos diferentes pontos amostrais, pois tanto em pontos da zona rural, quanto em pontos próximos a zonas urbanas, alguns deles apresentaram teores abaixo do limite mínimo indicado na legislação ( $5 \text{ mg L}^{-1}$ ).

O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros de maior importância para indicar a condição de qualidade água de um ambiente aquático. As concentrações de oxigênio dissolvido variam naturalmente no ambiente em função do aporte de oxigênio da atmosfera, da atividade fotossintética de alguns organismos aquáticos e da temperatura, além disso, a importância desse parâmetro se dá pela sua associação à processos físicos, químicos e especialmente biológicos, já que a manutenção da vida aquática aeróbia depende desse parâmetro (LIBÂNIO, 2010). Dessa forma, com os menores teores de oxigênio dissolvido no período de alta pluviosidade, verifica-se a piora na qualidade de água do Canal São Gonçalo nesse período. Os parâmetros turbidez e cor, já citados, indicaram a maior concentração de matéria orgânica em alta pluviosidade e, juntamente a isso, o oxigênio dissolvido corrobora com esse indicativo, pois durante a estabilização aeróbia da matéria orgânica as bactérias decompositoras fazem uso do oxigênio dissolvido em seus processos respiratório, podendo diminuir sua presença no meio (BAUMGARTEN; POZZA, 2001).

#### **4.1.6 Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes**

Os resultados dos parâmetros microbiológicos coliformes totais e coliformes termotolerantes encontram-se nas figuras 16 e 17 respectivamente.

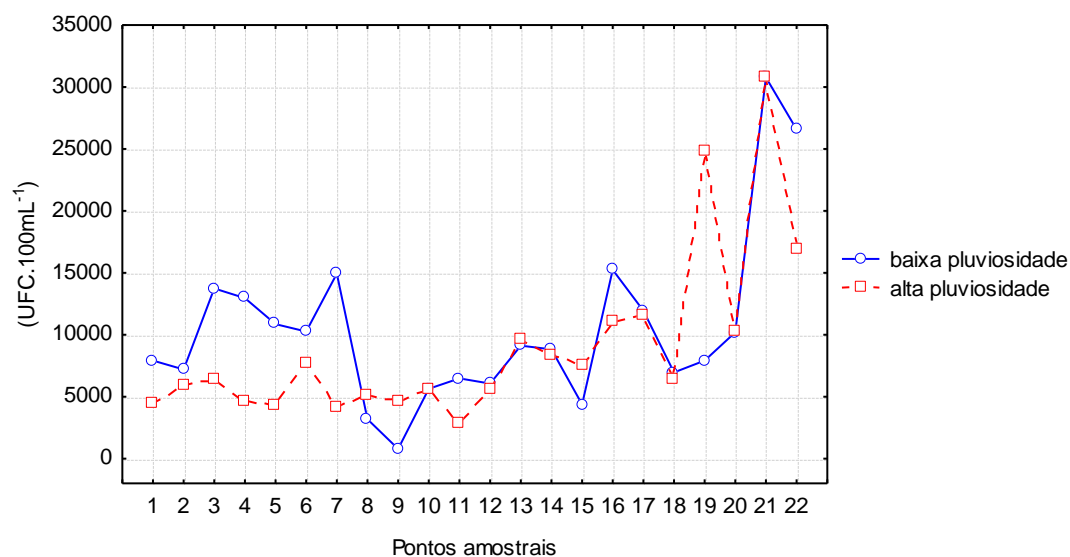


Figura 16 - Valores de coliformes totais nos dois períodos pluviométricos.

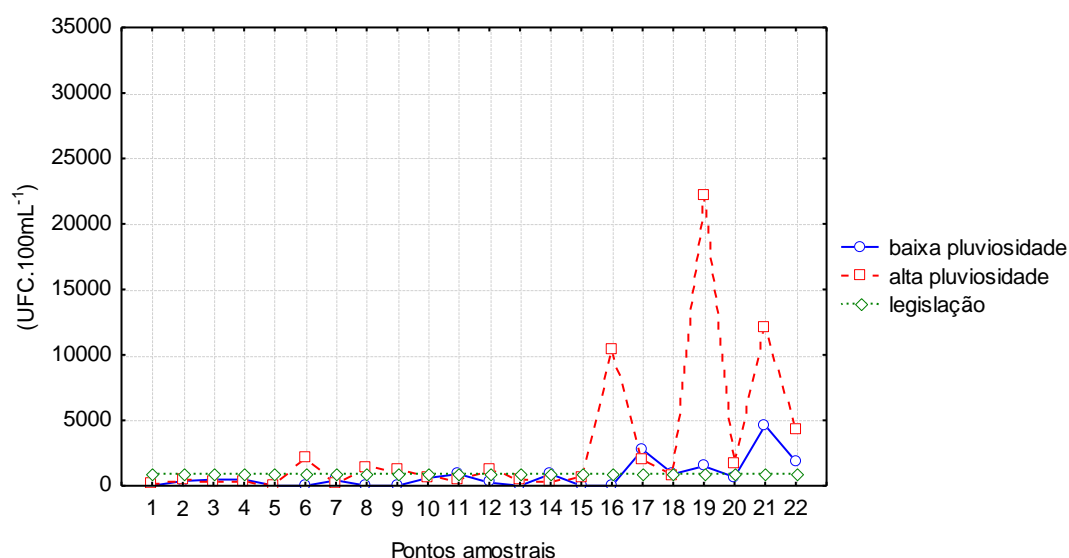


Figura 17 - Valores de coliformes termotolerantes nos dois períodos pluviométricos.

Os valores de coliformes totais variaram entre os locais e nos dois períodos pluviométricos. A média desse parâmetro foi de 10.544 UFC.100 mL<sup>-1</sup> no período de baixa pluviosidade e de 9.036 UFC.100 mL<sup>-1</sup> no período de alta pluviosidade. Os pontos P16, P19, P21 e P22, que apresentaram os maiores valores correspondem respectivamente à desembocadura do Canal Santa Bárbara, Canal do Pepino, canal de drenagem e Arroio Pelotas. Para esses mesmos locais, os coliformes termotolerantes que é um sub-grupo dos coliformes totais, também apresentou valores elevados, principalmente no período de alta pluviosidade. Já nos demais pontos os valores de coliformes

termotolerantes ficaram mais próximos ao que é estabelecido pela legislação ( $1000 \text{ UFC} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ). Importante destacar que para outros parâmetros discutidos até aqui, como a turbidez e o oxigênio dissolvido, esses pontos mencionados, correspondentes a desembocaduras de canais, estão em desacordo com a legislação, tornando a água de má qualidade, o que é potencializado com as chuvas, que “lavam” a superfície e levam para o manancial os mais diversos tipos de sólidos e microorganismos.

A avaliação da presença desse grupo de bactérias é usual nas pesquisas ambientais em qualidade de água no Brasil, porém elas são apenas um indicativo de que outras bactérias patogênicas podem estar presentes na água causando a disseminação de doenças de veiculação hídrica. No caso do Canal São Gonçalo, a presença principalmente de coliformes termotolerantes indica o risco ao qual a população está exposta ao usar esse manancial para prática de esportes e recreação, que é relativamente comum próximo à zona do porto de Pelotas, principalmente no período do verão.

#### **4.1.7 Amônia, Nitrito e Nitrato**

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos organismos aquáticos, porém, dependendo do seu estado de oxidação e dos teores presentes no corpo hídrico, ele pode trazer consequências nocivas ao meio aquático.

Os teores encontrados de nitrogênio no Canal São Gonçalo sob as formas de amônia, nitrito e nitrato encontram-se nas figuras 18, 19 e 20, respectivamente.

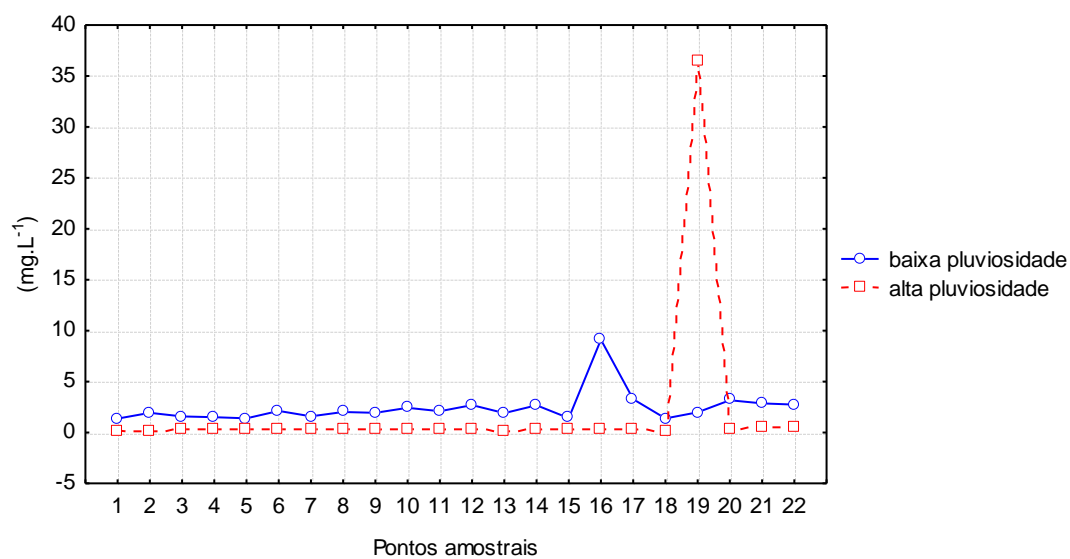


Figura 18 - Concentrações de amônia nos dois períodos pluviométricos.

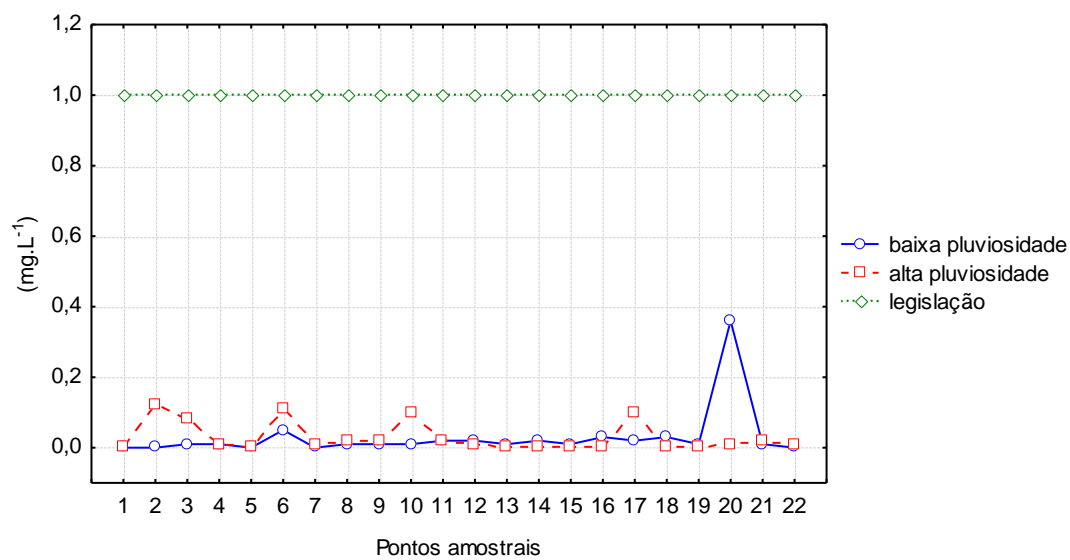


Figura 19 - Concentrações de nitrito nos dois períodos pluviométricos.

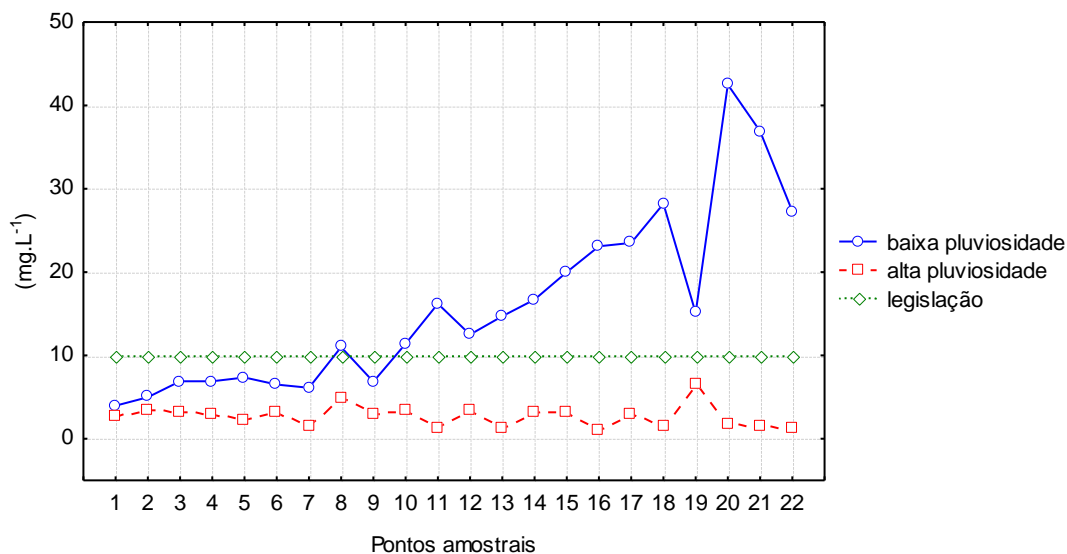


Figura 20 - Concentrações de nitrato nos dois períodos pluviométricos.

Em relação aos teores de nitrogênio em três diferentes estados de oxidação determinados no Canal São Gonçalo, algumas considerações devem ser feitas. Os teores de amônia tiveram média de  $2,41 \text{ mg L}^{-1}$  no período de baixa pluviosidade e  $1,91 \text{ mg L}^{-1}$  no período de alta pluviosidade, valores que podem ser considerados altos, já que a forma não ionizada da amônia ( $\text{NH}_3$ ) é considerada a mais tóxica (REIS; MENDONÇA, 2009). Além disso, na desembocadura do Canal Santa Bárbara (P16), no período de baixa pluviosidade e na desembocadura do Canal do Pepino (P19), no período de alta pluviosidade, os valores da amônia foram extremamente altos, bem acima da média dos outros locais. Esses dois canais são receptores de efluentes urbanos do município de Pelotas, fato que está associado aos maiores teores de amônia, já que nesse tipo de efluente sempre há elevadas cargas de matéria orgânica e consequentemente de amônia. Já o nitrito que é o estágio intermediário entre o amônio e o nitrato, ficou com teores dentro do limite da legislação em todos os locais nos dois períodos.

Em relação ao parâmetro nitrato, as concentrações encontradas foram altas no período de baixa pluviosidade e ficaram acima dos  $10 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecidos na legislação em 14 dos 22 pontos amostrais. A média foi de  $15,84 \text{ mg L}^{-1}$  no período de baixa pluviosidade. Já no período de alta pluviosidade os teores encontrados foram mais baixos e ficaram dentro dos limites da legislação. A média nesse período foi de  $2,69 \text{ mg L}^{-1}$ . Um estudo de

Souza e Gastaldini (2014) na Bacia Hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, também localizado no estado do Rio Grande do Sul, demonstrou que os teores de nitrato são maiores nas sub-bacias mais densamente urbanizadas, porém o valor médio que as autoras encontraram foi de  $1,4 \text{ mg L}^{-1}$  na região mais urbanizada, abaixo da média encontrada no São Gonçalo. O maior problema relacionado aos teores mais elevados de nitrato é de ordem sanitária. Alaburda e Nishihara (1998) destacam o risco que os compostos do nitrogênio podem trazer a saúde humana, sendo que a presença de nitrato em águas de abastecimento está associada a efeitos adversos à saúde, como a indução à metemoglobinemia e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas. Além disso, em termos ambientais, o excesso de nitrogênio juntamente com o fósforo pode levar a eutrofização do corpo hídrico.

Coradi, Fia e Ramirez (2009) em um monitoramento mensal entre os anos de 1996 e 1998 em um ponto do Canal São Gonçalo encontraram média de  $1,3 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrato, e de  $2,6 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrogênio amoniacal. Já Machado (2002) em duas campanhas amostrais em 6 pontos do canal encontrou um valor máximo de nitrato  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ .

Considerando os teores mais elevados de amônia e nitrato encontrados nesse trabalho, indica-se o monitoramento constante desses dois parâmetros. Além disso, torna-se imprescindível o tratamento dos efluentes oficiais e clandestinos que chegam até o canal e que provavelmente sejam as maiores fontes de nitrogênio.

#### **4.1.8 Fósforo**

O fósforo assim como o nitrogênio constitui-se de um macronutriente essencial aos processos biológicos. Porém o fósforo em excesso, juntamente com o nitrogênio, pode levar a eutrofização do ambiente aquático.

Nesse trabalho o fósforo foi avaliado na forma de fosfato, que é uma das formas predominantemente encontrada em águas naturais (SANTOS, 2008) e cujos teores encontrados ao longo do Canal São Gonçalo podem ser observados na figura 21.



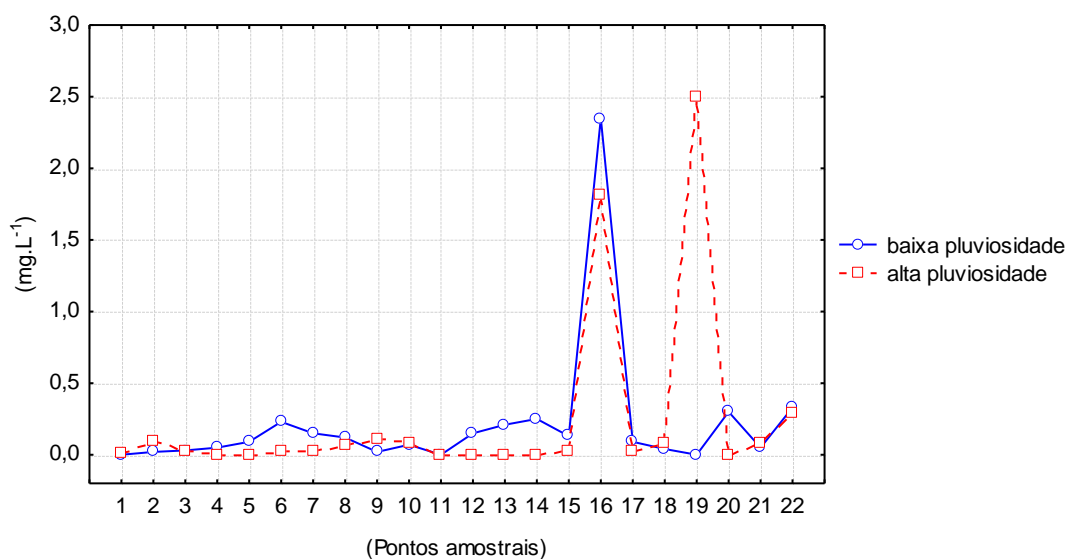


Figura 21 - Concentrações de fosfato nos dois períodos pluviométricos.

As fontes antrópicas de fósforo são diversas, mas entre elas Merten e Minella (2002) dão destaque à agricultura. As atividades agrícolas podem causar degradação ambiental pelo aporte de nutrientes provenientes das lavouras e da produção animal, que chegam até os mananciais quando não há o correto manejo do solo. Em áreas rurais a contaminação por excesso desses nutrientes pode ser pontual, pela criação de animais em sistemas de confinamento, ou difusa causada principalmente pelo processo de escoamento superficial. Outra grande fonte de fósforo são as descargas de efluentes domésticos, principalmente pela presença de detergentes superfosfatados empregados em larga escala nos usos domésticos. Além disso, alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas que devem ser tratados corretamente antes de serem despejados no ambiente (CETESB, 2014b).

Nesse trabalho as maiores concentrações de fosfato foram encontradas na desembocadura do Canal Santa Bárbara (P16) e na desembocadura do Canal do Pepino (P19) demonstrando que o maior aporte de fósforo no canal é de origem urbana, assim como ocorreu com o nitrogênio. Nos demais locais, os teores de fosfato foram relativamente baixos. Pinheiro et al. (2013) encontrou valores de até 20 mg L<sup>-1</sup> de fosfato no monitoramento da qualidade da água da

bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia, SC, onde a densidade populacional é baixa, mas há sistemas extensivos de criação de aves e gado.

Machado (2002) encontrou ao longo do Canal São Gonçalo concentração máxima de fosfato de  $0,14 \text{ mg L}^{-1}$ . Ramos (2013) ao avaliar o estado trófico do Canal São Gonçalo, não identificou riscos de eutrofização naquele momento. Dessa maneira o que pode-se perceber é que o maior aporte de fósforo para o canal é proveniente de fontes pontuais de poluição, como os canais Santa Bárbara e Pepino, mas não sendo ainda considerado um problema tão grave, se comparado ao aporte de nitrato a este ecossistema.

#### 4.1.9 Ferro

O ferro é um micronutriente e um metal necessário ao metabolismo dos seres vivos, indispensável em baixas concentrações para vida no meio aquático (BAUMGARTEN; POZZA, 2001).

A variação do parâmetro ferro no Canal São Gonçalo pode ser observada na figura 22.

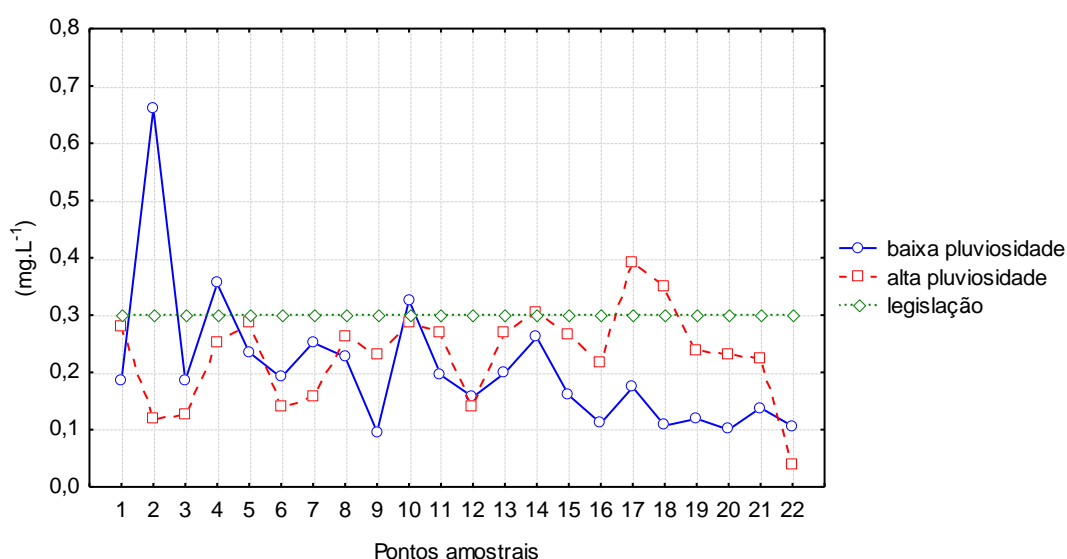


Figura 22 - Concentrações de ferro nos dois períodos pluviométricos.

O limite máximo desse parâmetro estabelecido pela legislação é de  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ . Em todos os pontos amostrais foi detectada a presença de ferro dissolvido, porém alguns pontos ultrapassaram os limites da legislação, sendo eles: em baixa pluviosidade, P02 (desembocadura do Arroio Sangradouro), P04 (Vila de Santa Izabel) e P10 (Ilha das Moças); em alta pluviosidade, P17

(atracadouro de barcos “quadrado”) e P18 (porto de Pelotas). Pelo gráfico não é possível perceber uma tendência de aumento ou diminuição desse parâmetro em função da chuva, já que em determinados pontos a concentração de ferro foi maior no período de baixa pluviosidade e em outros ocorreu o inverso. O que pode ser observado é que os pontos em que as concentrações de ferro ultrapassaram o limite da legislação no período de baixa pluviosidade são aqueles em zona rural. Já no período de alta pluviosidade, os pontos com o ferro em desacordo com a legislação são em zona urbana. Apesar dos locais citados estarem em desacordo com a legislação considerando a Classe 2, esses teores não chegam a comprometer a qualidade da água do e, além disso, para um manancial de Classe 3, a legislação já amplia o limite de ferro dissolvido para  $5 \text{ mg L}^{-1}$ , ou seja, os teores de ferro dissolvido encontrados não chegam a se caracterizar como um problema no Canal São Gonçalo.

#### 4.1.10 Sulfato

A variação da concentração do parâmetro sulfato pode ser visualizada na figura 23.

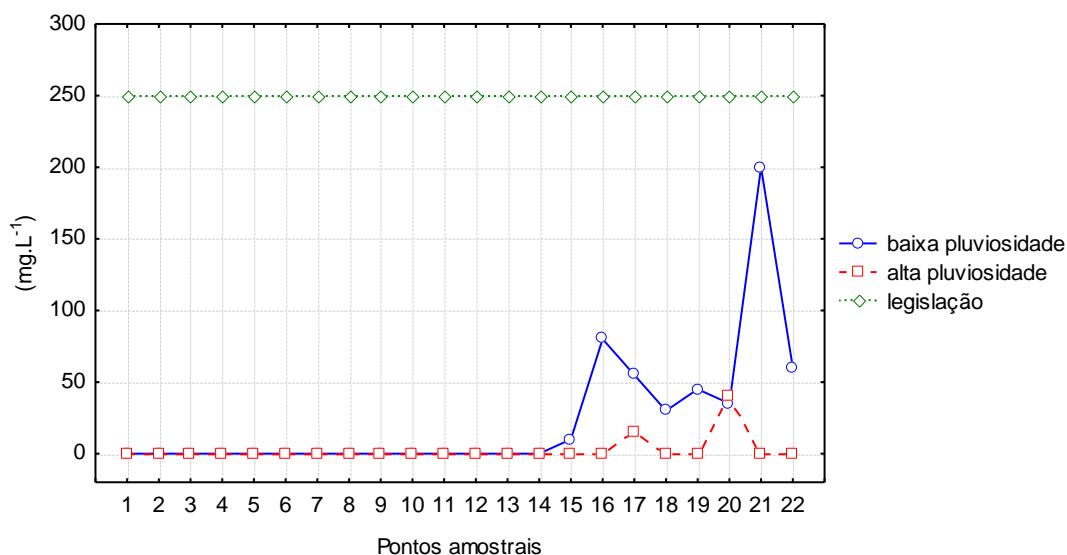


Figura 23 - Concentrações de sulfato nos dois períodos pluviométricos.

Os pontos com teores de sulfato mais elevados foram no período de baixa pluviosidade e correspondem ao P16 (desembocadura do Canal Santa Bárbara) com concentração de sulfato de  $80 \text{ mg L}^{-1}$  e ao P21 (desembocadura do canal de drenagem) com concentração de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ . Mesmo as

concentrações nesses dois pontos sendo mais altas quando comparadas às demais, elas não chegam a ultrapassar o limite da legislação, de  $250 \text{ mg L}^{-1}$ .

O íon sulfato pode ser de origem antrópica, através da descarga de efluentes domésticos e industriais, e de origem natural, pela dissolução de solos e rochas (CETESB, 2014b). As concentrações de sulfato são mais elevadas próximas ao mar, já que o sulfato é abundante nos oceanos, desta forma as concentrações de sulfato podem variar desde valores não-detectáveis em ambientes aquáticos continentais, como podem chegar a valores próximos da saturação nos oceanos (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). O que se pode observar claramente através da figura 23 é que o sulfato não ocorre naturalmente no Canal São Gonçalo, pois em ambos os períodos pluviométricos não foi detectada a presença de sulfato dos pontos P01 ao P14. Dessa forma pode-se atribuir a presença de sulfato nos pontos P15 a P22 às descargas urbanas e industriais que chegam até o Canal São Gonçalo através de seus afluentes. Diferentemente de alguns outros parâmetros já discutidos que tiveram teores maiores no período de alta pluviosidade, o parâmetro sulfato se comportou de maneira inversa, com menores concentrações no período de baixa pluviosidade, provavelmente por efeito de diluição pela ação das chuvas.

#### **4.1.11 Fluoreto**

O fluoreto geralmente é encontrado em baixas concentrações em águas naturais, porém concentrações mais elevadas podem se encontradas em locais onde existem minerais ricos em flúor, tais como áreas com depósitos geológicos de origem marinha. Além disso, a presença mais elevada de fluoreto em águas naturais pode estar associada com fontes subterrâneas (CETESB, 2014b).

Os teores de fluoreto presentes no Canal São Gonçalo encontram-se na figura 24 associados ao limite máximo estabelecido na legislação vigente.

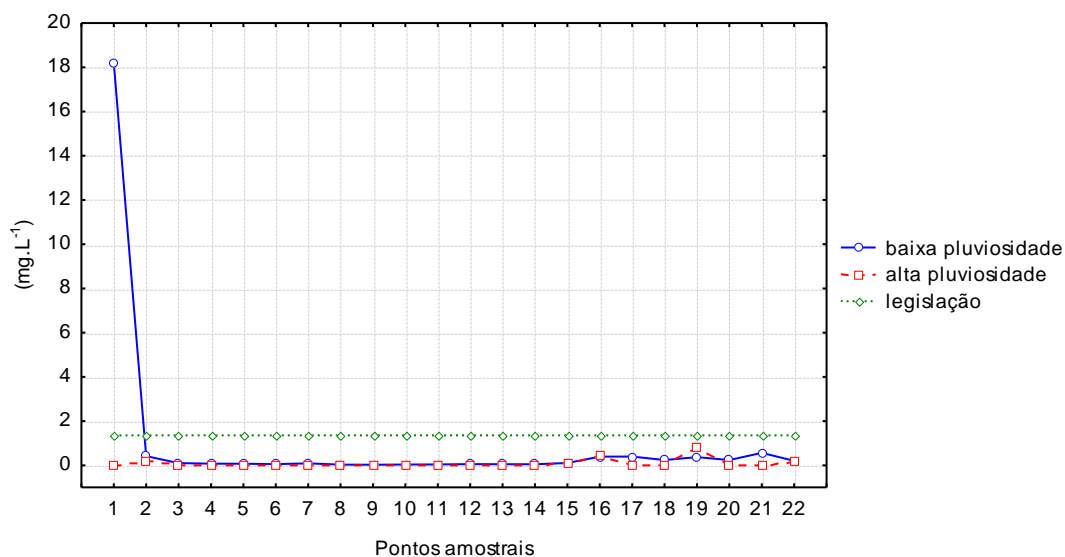


Figura 24 - Concentrações de fluoreto nos dois períodos pluviométricos.

As concentrações do parâmetro fluoreto ficaram muito próximas de zero e abaixo do limite da legislação na quase totalidade dos pontos, com exceção do P01 no período de baixa pluviosidade, o que pode ser observado na figura 24.

Considerando que o P01 está localizado na confluência entre a Lagoa Mirim e o Canal São Gonçalo, a concentração de  $18,2 \text{ mg L}^{-1}$  provavelmente é de origem da Lagoa Mirim e não do Canal São Gonçalo, já que nos demais pontos a concentração foi significativamente menor. Não foram encontrados na literatura dados pretéritos relativos a esse parâmetro na Lagoa Mirim. Dessa maneira indica-se uma maior investigação quanto a esse parâmetro na Lagoa Mirim.

#### 4.1.12 Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais

A condutividade elétrica está associada à presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions, usualmente íons de ferro, manganês, potássio, cloreto, sódio, cálcio e magnésio (LIBÂNIO, 2010). Já o parâmetro sólidos dissolvidos totais representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil (SANTOS, 2008). Segundo Libânio (2010) existe uma estreita correlação entre esses dois parâmetros, a qual se manifesta diferentemente para cada manancial.

Em relação à legislação, apenas para o parâmetro sólidos dissolvidos totais é estabelecido um limite máximo.

A variação dos teores de sólidos dissolvidos totais ao longo do Canal São Gonçalo pode ser visualizada na figura 25.

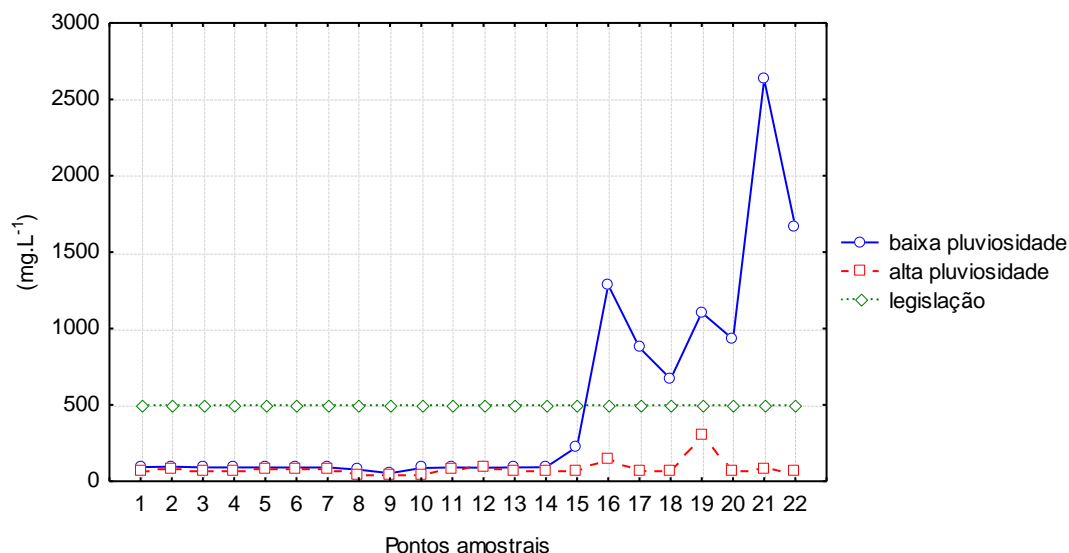


Figura 25 - Concentrações de sólidos dissolvidos totais nos dois períodos pluviométricos.

Assim como ocorreu com outros parâmetros já discutidos anteriormente o comportamento dos sólidos dissolvidos totais foi de baixos teores na maior parte do canal, tendo picos a partir da desembocadura do Canal Santa Bárbara (P16) no período de baixa pluviosidade. Os valores encontrados a partir do P16 nessa condição pluviométrica foram extremamente altos e indicam que em período de seca a parcela de sólidos dissolvidos que chega é mais significativa do que a parcela de sólidos em suspensão.

O parâmetro condutividade elétrica apresentou comportamento muito semelhante ao dos sólidos dissolvidos totais, tendo os maiores valores também a partir do P16 e atingindo um valor máximo de  $4110 \mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$  no P22 (desembocadura do Arroio Pelotas), no período de baixa pluviosidade. Os demais valores constam nos apêndices A e B.

#### 4.1.13 Salinidade

A salinidade é um parâmetro que expressa a presença de sais minerais na água, sendo este de altíssima relevância para o equilíbrio das reações físico-químicas e para a manutenção da biodiversidade aquática. A legislação

classifica os corpos d'água de acordo com a salinidade em: águas doces (salinidade inferior à 0,5 ‰), águas salobras (salinidade entre 0,5 e 30 ‰) e água salinas (salinidade superior à 30 ‰). A salinidade pode ser resultado de vários fatores, entre eles Libânio (2010) destaca: a intrusão de água do mar no aquífero freático; a composição das rochas e do solo da bacia de drenagem; a diferença entre os níveis de precipitação e evaporação; e o lançamento de efluentes domésticos e industriais.

Os teores de salinidade encontrados em porcentagem podem ser visualizados na figura 26.

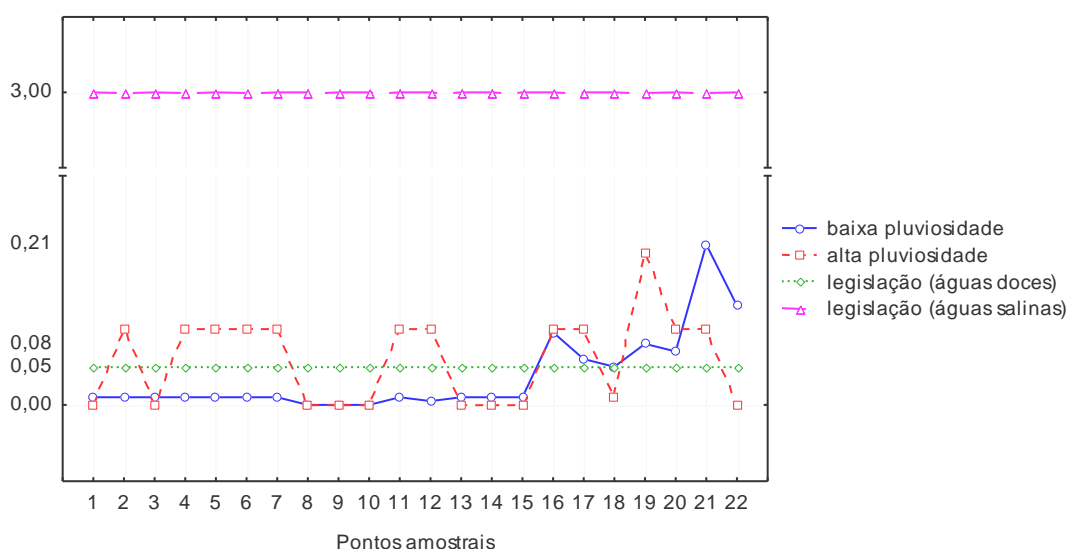


Figura 26 - Valores de salinidade nos dois períodos pluviométricos.

A salinidade é também um parâmetro com estreita correlação com os sólidos dissolvidos totais e condutividade elétrica. Assim como ocorreu com esses dois parâmetros, a salinidade no período de baixa pluviosidade teve valores mais altos do P16 ao P22, resultantes provavelmente dos efluentes que chegam da zona urbana no município de Pelotas. Do P01 ao P15 os valores de salinidade ficaram muito próximos de zero e chegaram a zero em alguns pontos. Já no período de alta pluviosidade o comportamento desse parâmetro foi distinto e mais elevado em alguns pontos mais a montante do canal, área em que praticamente não há despejos de efluentes, ou seja, nesses pontos (P02, P04, P05, P06, P07, P11 e P1) a salinidade mais alta pode ser originada da drenagem do próprio solo da bacia em períodos chuvosos.

#### 4.1.14 Cálcio, Cloreto e Potássio

Os parâmetros cálcio, cloreto e potássio são alguns dos parâmetros responsáveis pela condutividade elétrica e pela salinidade nos mananciais.

A figura 27 apresenta os teores de cálcio presentes no Canal São Gonçalo nos diferentes períodos pluviométricos.

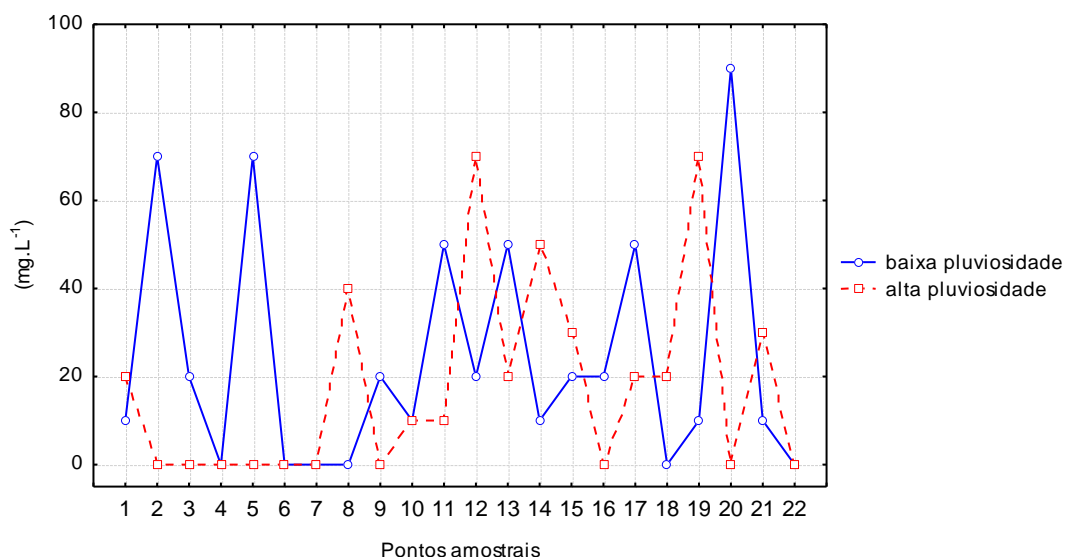


Figura 27 - Concentrações de cálcio nos dois períodos pluviométricos.

O cálcio não tem significância sanitária, mas pode ser prejudicial em maiores concentrações quando a água é usada para fins domésticos ou industriais por conferir dureza à água (MACÊDO, 2007). Apesar disso a legislação não estabelece um limite para esse parâmetro.

Conforme pode ser visualizado na figura 27, as concentrações de cálcio ao longo do canal variaram tanto temporal como espacialmente e a média foi de 24 mg L<sup>-1</sup> no período de baixa pluviosidade e de 17 mg L<sup>-1</sup> no período alta pluviosidade.

Na figura 28 são apresentados os teores de cloreto presentes no Canal São Gonçalo.



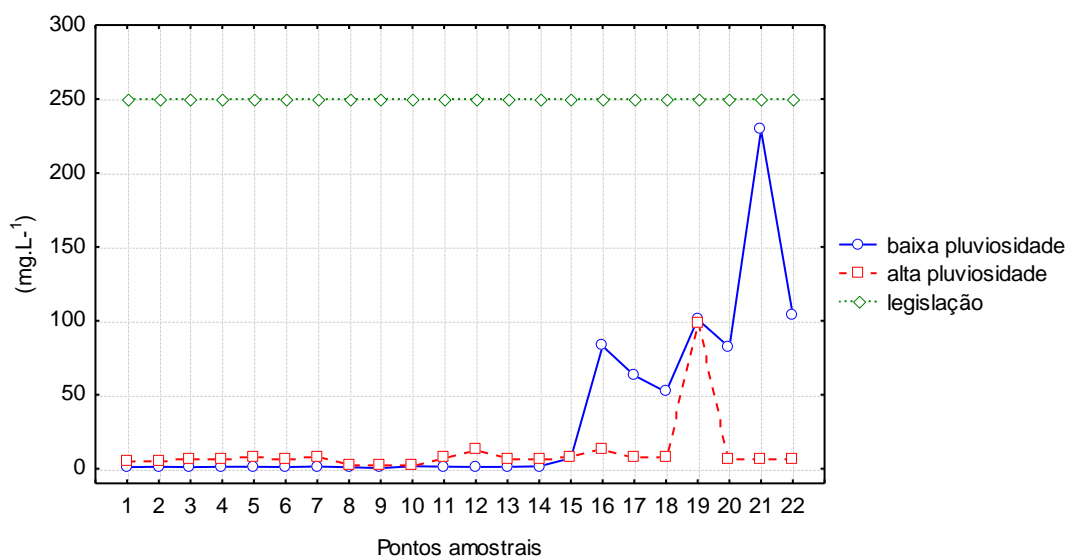


Figura 28 - Concentrações de cloreto nos dois períodos pluviométricos.

Para o parâmetro cloreto, pode-se verificar uma alta correlação com os valores de condutividade elétrica, que pode ser visualizada nas matrizes de correlação nos apêndices C e D. Apesar dos valores não terem ultrapassado os limites da legislação, eles foram mais elevados a partir do P16 no período de baixa pluviosidade. Somado a isso, no período de alta pluviosidade o único local com valor elevado foi o P19, correspondente a desembocadura do Canal do Pepino o que confirma que a origem predominantemente antrópica desse íon.

Outra possibilidade para os maiores teores de cloreto nos pontos citados no período de baixa pluviosidade seria a entrada de água da Laguna dos Patos para o Canal São Gonçalo, já que a água da laguna pode conter teores de cloreto significativamente mais elevados, pela intrusão da água do mar que ocorre em períodos de seca, nos quais o nível da laguna é mais baixo. Porém, no dia da amostragem o fluxo do canal estava de montante para jusante, o que diminui essa possibilidade. Além disso, Machado (2002) também avaliou a presença de cloretos no Canal São Gonçalo em seis diferentes pontos em duas campanhas amostrais. O maior valor encontrado naquele ano foi de 26 mg L<sup>-1</sup>, valor bem abaixo dos máximos encontrados nesse trabalho, indicando haver uma significativa alteração deste ambiente, podendo estar associada ao aumento dos efluentes que aportam o Canal São Gonçalo.

Já para o parâmetro potássio os teores encontrados podem ser visualizados na figura 29.

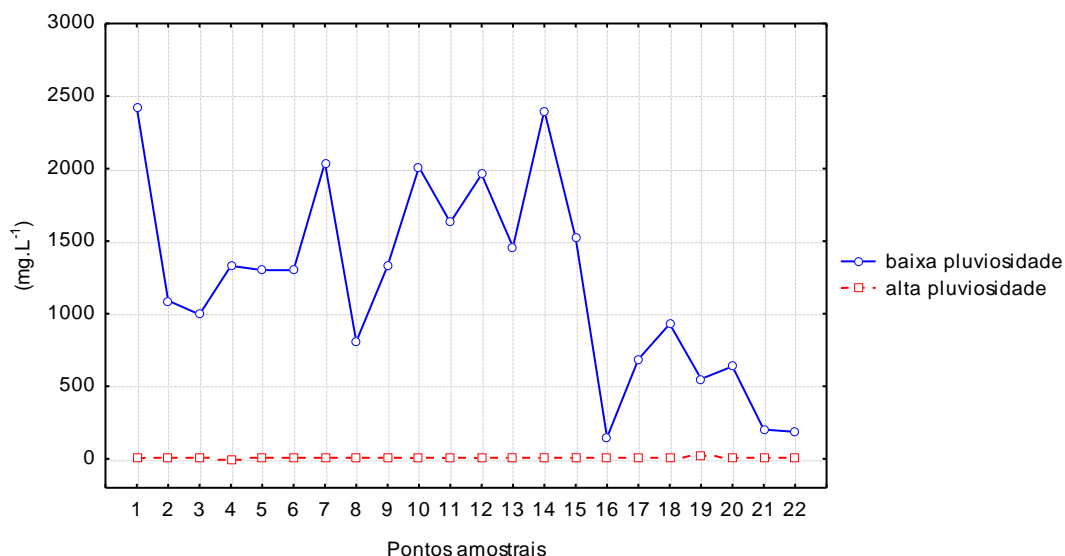


Figura 29 - Concentrações de potássio nos dois períodos pluviométricos.

Houve uma grande diferença entre os dois períodos pluviométricos e no período de baixa pluviosidade os teores ficam acima de  $2.000 \text{ mg L}^{-1}$  em alguns pontos.

O potássio está relacionado com a formação geológica da bacia hidrográfica e ocorre principalmente nos feldspatos potássicos, micas, leucitas, em rochas ígneas e metamórficas (SANTOS, 2008). Já a origem antrópica do potássio está relacionada à utilização de sais de potássio na indústria e em fertilizantes na agricultura (CETESB, 2014b).

O potássio não é contemplado na legislação e na literatura consultada não foram encontrados dados pretéritos sobre esse parâmetro no canal, o que torna a interpretação dos resultados mais complexa.

Os valores encontrados no período de baixa pluviosidade são considerados extremamente altos quando comparados a outros locais. Lucas, Folegatti e Duarte (2010) no monitoramento da qualidade da água da microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins/SP, a qual possui uso intensivo do solo com produção agropecuária, encontraram teores em torno de  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , muito abaixo do encontrado nesse trabalho.

O que se pode perceber através da figura 29 é que os maiores teores são do P01 ao P16, ou seja, na parte do canal que drena áreas agrícolas, ocupadas principalmente com cultivo de arroz, que pode ser a fonte dos

elevados teores de potássio no canal. Por outro lado, esperavam-se teores mais elevados no período de alta pluviosidade, já que a tendência é que exista o carreamento de compostos do solo para os cursos d'água, o que não foi observado nesse trabalho em relação ao potássio, já que os teores foram significativamente mais baixos no período de alta pluviosidade. Dessa forma indica-se o monitoramento dessa variável a fim de melhor compreender a sua presença em elevadas concentrações em períodos de seca.

#### **4.1.15 Zinco e Cromo VI**

Os elementos zinco e cromo VI fazem parte do grupo denominado *metais pesados*, denominação essa que nos últimos anos vem sendo substituída por *elementos traço*, os quais são caracterizados como metais presentes em pequenas concentrações no ambiente e nos seres vivos, alguns sendo considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não o são (PORTO; ETHUR, 2009). Os outros elementos que se inserem nesse grupo são: cobre, mercúrio, magnésio, chumbo, cádmio, cobalto, níquel, molibdênio e prata, e que, conforme Libânio (2010) apresentam-se como problemáticos quando presentes em águas naturais por possuírem algumas características já bem conhecidas como: toxicidade aos organismos; efeitos sinérgicos com outras características das águas (pH, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido) e; potencialização ao longo cadeia trófica.

Em estudo feito por Porto e Ethur (2009), em uma Bacia Hidrográfica no oeste do estado do Rio Grande do Sul, na qual a economia está baseada na atividade agropecuária, semelhante ao que ocorre na bacia hidrográfica do presente trabalho, foi encontrada a presença de alguns metais em desacordo com a legislação vigente e essa presença foi atribuída pelos autores à atividade agropecuária, a resíduos urbanos e a processos geológicos.

Pelo principal motivo do Canal São Gonçalo ser fonte de abastecimento humano e pelos riscos que os elementos traço trazem ao ser humano, optou-se por analisar nesse trabalho pelo menos dois elementos traço, zinco e cromo VI, já que análise desses elementos envolvem custos elevados e complexas análises, tornando inviável a análise de todos os elementos do grupo. As concentrações encontradas podem ser visualizadas nas figuras 30 e 31.

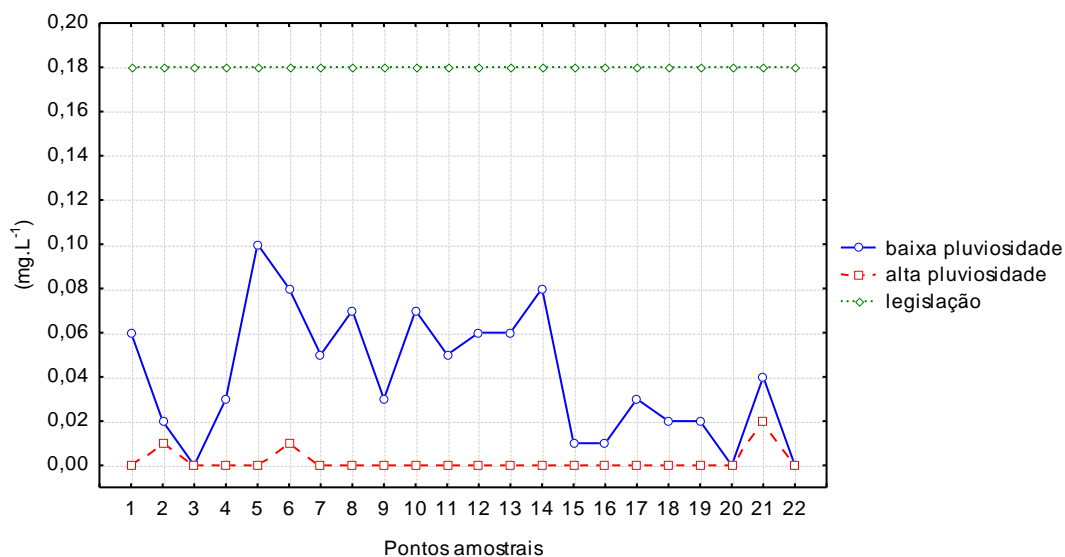


Figura 30 - Concentrações de zinco nos dois períodos pluviométricos.

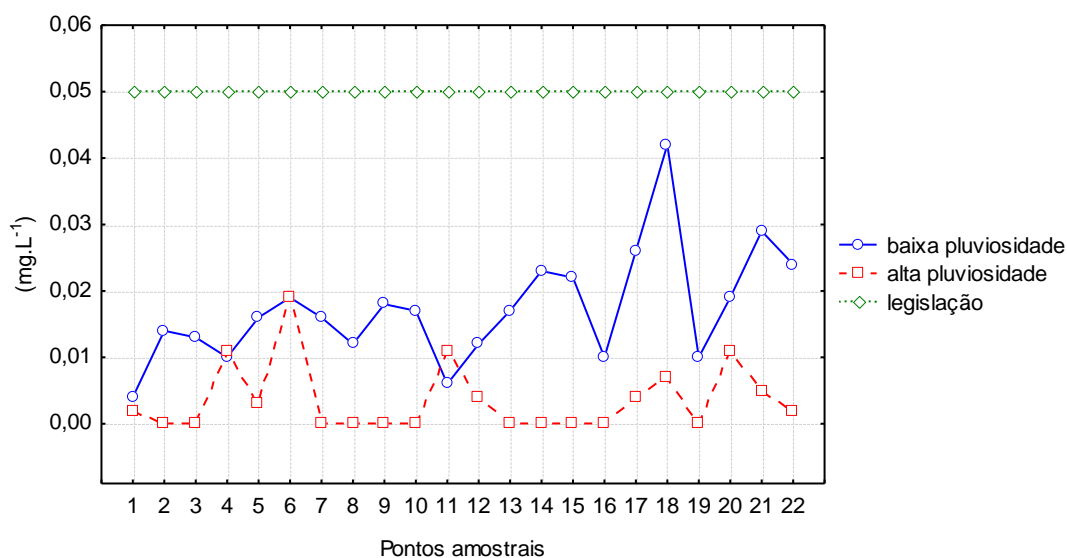


Figura 31 - Concentrações de cromo VI nos dois períodos pluviométricos.

Em estudo anterior Machado (2002) avaliou no Canal São Gonçalo a presença dos metais cádmio, chumbo, cromo e mercúrio e os teores foram todos muito próximos de zero. Nesse trabalho todos os resultados para os metais zinco e cromo VI ficaram abaixo do limite da legislação. Salienta-se que a análise desses dois metais não exclui a presença de outros, que poderão ser avaliados em estudos futuros.

## 4.2 Análise de componentes principais

A aplicação da ACP permitiu agrupar as variáveis de qualidade de água em fatores que facilitam a interpretação dos resultados.

Quando os fatores (componentes) são gerados pela ACP é possível optar pela rotação ou não dos eixos dos fatores gerados. A rotação de eixos geralmente é feita quando existe uma hipótese probabilística. No caso desse trabalho, não se partiu de nenhuma hipótese inicial, então foi necessário verificar a necessidade de rotação de eixos. Existem diversas maneiras de rotacionar os eixos dos fatores gerados pela ACP, conforme citado por Milani (2004) sendo elas: Varimax Raw, Varimax Normalizada, Biquartimax Raw, Biquartimax Normalizada, Quartimax Raw, Quartimax Normalizada, Equamax Raw, Equamax Normalizada. Cada uma delas agrupa as variáveis de diferentes formas e resulta em fatores com diferentes percentuais de explicação.

As tabelas 5 e 6 apresentam as porcentagens de explicação das diferentes formas de rotação de eixos para os dois primeiros fatores nos diferentes períodos pluviométricos (baixa e alta pluviosidade).

Tabela 5 - Porcentagem de explicação dos Fatores 1 e 2 gerados pela ACP com diferentes rotações de eixos para os dados do período de baixa pluviosidade.

Rotação	Fator 1	Fator 2
	(% de explicação)	(% de explicação)
Sem rotação	42	17
Varimax Raw	36	18
Varimax Normalizada	35	17
Biquartimax Raw	37	18
Biquartimax Normalizada	38	17
Quartimax Raw	39	17
Quartimax Normalizada	39	17
Equamax Raw	39	17
Equamax Normalizada	39	17

Tabela 6 - Porcentagem de explicação dos Fatores 1 e 2 gerados pela ACP com diferentes rotações de eixos para os dados do período de alta pluviosidade.

Rotação	Fator 1	Fator 2
	(% de explicação)	(% de explicação)
Sem rotação	34	18
Varimax Raw	32	15
Varimax Normalizada	32	16
Biquartimax Raw	33	15
Biquartimax Normalizada	32	15
Quartimax Raw	33	15
Quartimax Normalizada	33	15
Equamax Raw	33	15
Equamax Normalizada	33	15

Verificou-se que para ambos os conjuntos de dados (baixa e alta pluviosidade) a opção sem rotação de eixos apresentou um maior percentual de explicação nos dois primeiros fatores. Dessa forma, optou-se pela extração dos fatores sem rotação de eixos.

A seleção do número de fatores foi baseada no critério da Raiz Latente, onde apenas os fatores que tem autovalores (eigenvalues) maiores que 1 são considerados como significativos. Outros autores que desenvolveram trabalhos sobre qualidade de água superficial de diferentes mananciais também utilizaram esse mesmo critério para seleção do número de fatores (SABINO et al., 2008; FRANÇA et al., 2009; BERTOSSE et al., 2013 ).

Foram selecionados cinco fatores para o conjunto de dados referente ao período de baixa pluviosidade, que explicaram aproximadamente 81% da variabilidade dos dados e, seis fatores para o conjunto de dados referentes ao período de alta pluviosidade, que explicaram aproximadamente 86% da variabilidade dos dados (Figuras 32 e 33).

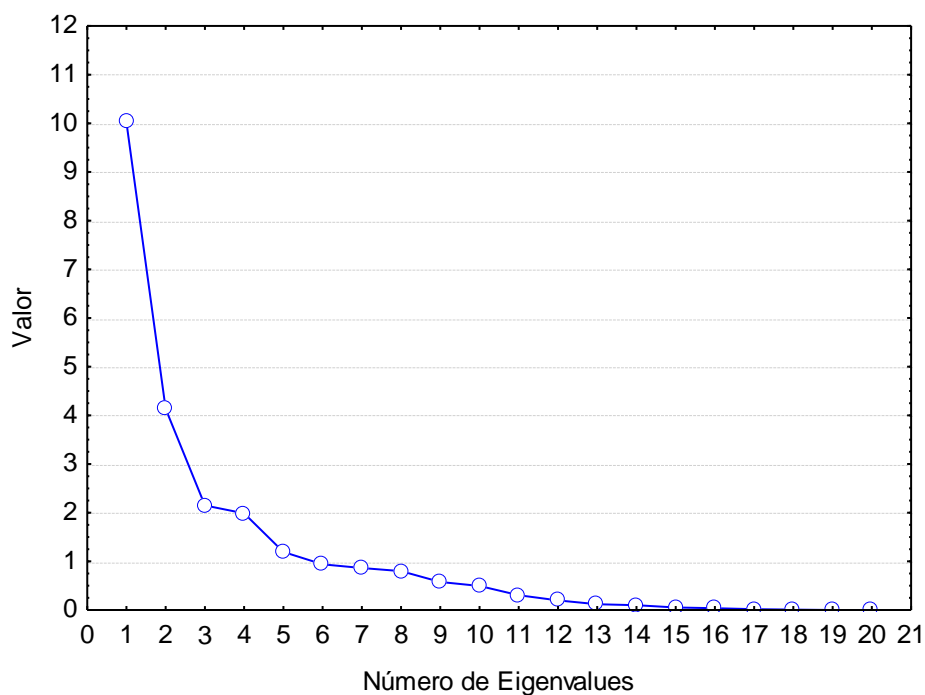


Figura 32 - Autovalores (eigenvalues) dos fatores gerados na ACP para os dados no período de baixa pluviosidade.

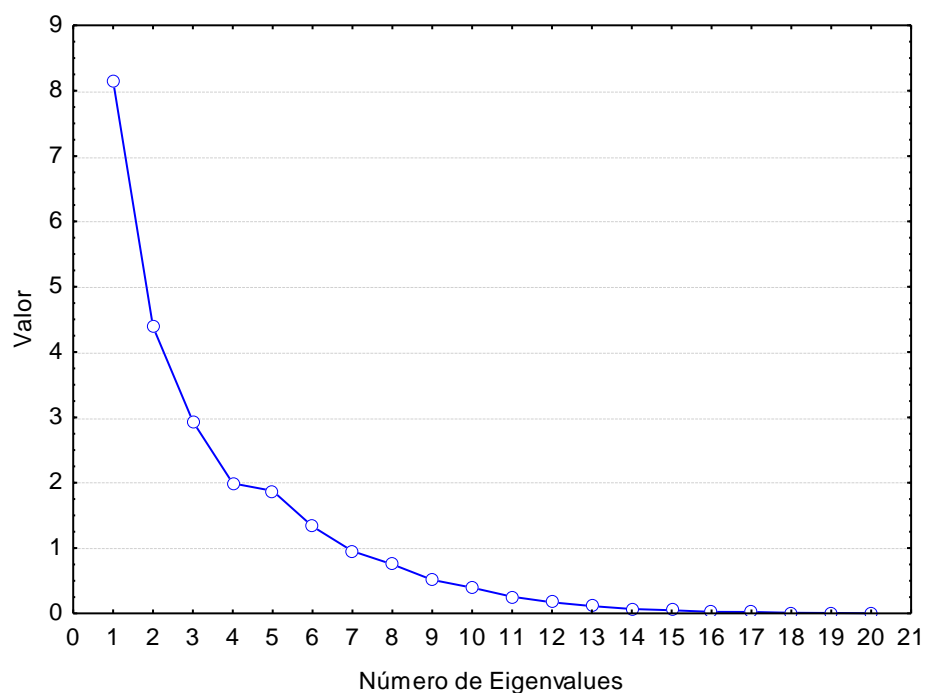


Figura 33 - Autovalores (eigenvalues) dos fatores gerados na ACP para os dados no período de alta pluviosidade.

As cargas fatoriais acima de 0,6 (em negrito nas tabelas 7 e 8) serão consideradas significativas indicando as variáveis que melhor representam a condição de qualidade da água do Canal São Gonçalo. Salienta-se que os fatores serão considerados em ordem de maior para menor importância, ou

seja, o Fator 1 é mais relevante que o Fator 2, o Fator 2 é mais relevante que o Fator 3, e assim sucessivamente.

Conforme mencionado na metodologia, nesse trabalho optou-se por aplicar a ACP separadamente para o conjunto de dados que representa o período de baixa pluviosidade e para o que representa o período de alta pluviosidade. Essa opção foi feita devido as condições hidroquímicas do Canal São Gonçalo variarem consideravelmente de uma condição para outra, sendo um dos objetivos do trabalho justamente verificar as diferenças de qualidade de água nessas situações distintas. A interpretação da ACP para cada período pluviométrico é apresentada a seguir.

#### **4.2.1 Baixa pluviosidade**

A tabela 7 apresenta as cargas fatoriais para os cinco fatores para o período de baixa pluviosidade.



Tabela 7 - Cargas fatoriais de cada variável para os fatores selecionados dos dados de baixa pluviosidade.

Variáveis	Fatores				
	1	2	3	4	5
Transparência	0,399	<b>-0,7520</b>	0,0731	-0,2453	0,1597
Coliformes Totais	0,457	0,3928	0,4031	0,3845	-0,0442
Coliformes Termotolerantes	0,266	<b>0,6702</b>	0,0486	0,0751	0,3394
pH	0,423	0,4317	-0,3887	0,2445	0,4350
Condutividade Elétrica	<b>0,956</b>	0,2461	0,0470	0,0607	-0,0185
Turbidez	<b>-0,621</b>	0,5996	0,3671	0,1611	-0,0480
Oxigênio Dissolvido	<b>-0,640</b>	<b>0,6351</b>	-0,3124	-0,1294	0,1572
Temperatura	<b>0,606</b>	-0,2082	-0,4117	0,2025	0,1355
Salinidade	<b>0,895</b>	0,2575	0,1251	-0,0226	-0,0646
Sólidos Dissolvidos Totais	<b>0,956</b>	0,2467	0,0480	0,0608	-0,0176
F <sup>-</sup>	<b>0,760</b>	0,2871	0,3713	-0,0719	0,2388
K <sup>+</sup>	<b>-0,879</b>	0,0570	-0,3031	0,0218	0,2471
Ca <sup>2+</sup>	-0,042	-0,1848	0,2763	-0,5086	<b>0,6514</b>
Cl <sup>-</sup>	<b>0,950</b>	0,2559	0,0019	0,0484	0,0018
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,810</b>	0,0967	-0,2872	0,0115	0,0908
Cor Aparente	-0,555	0,2734	0,1869	<b>0,7095</b>	-0,0306
Cor Verdadeira	-0,206	-0,4918	-0,0225	<b>0,6857</b>	0,2124
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0,958</b>	0,1939	-0,0170	-0,0070	-0,0190
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,498	<b>-0,6751</b>	0,2980	0,2986	-0,1256
NH <sub>3</sub>	<b>0,656</b>	-0,5942	0,2455	0,2032	0,2271
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,186	-0,4023	-0,4364	0,3588	0,1067
Fe	-0,570	0,2048	<b>0,6259</b>	0,1913	0,2380
Zn	-0,510	-0,1732	-0,2234	0,2770	0,2383
Cr	0,365	0,4380	-0,4482	0,1010	-0,1472
<b>% explicação</b>	41,7534	17,2189	8,9568	8,2841	4,9706
<b>% acumulada</b>	41,7534	58,9722	67,9290	76,2131	81,1837

Observando as cargas fatoriais das variáveis em estudo associadas ao Fator 1, percebe-se que as variáveis condutividade elétrica, temperatura, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, cloreto, nitrato, sulfato, amônia, apresentam altas cargas positivas e, as variáveis turbidez, oxigênio dissolvido e potássio apresentam altas cargas negativas. Essas variáveis podem ser melhor visualizadas na figura 34, onde estão em destaque.

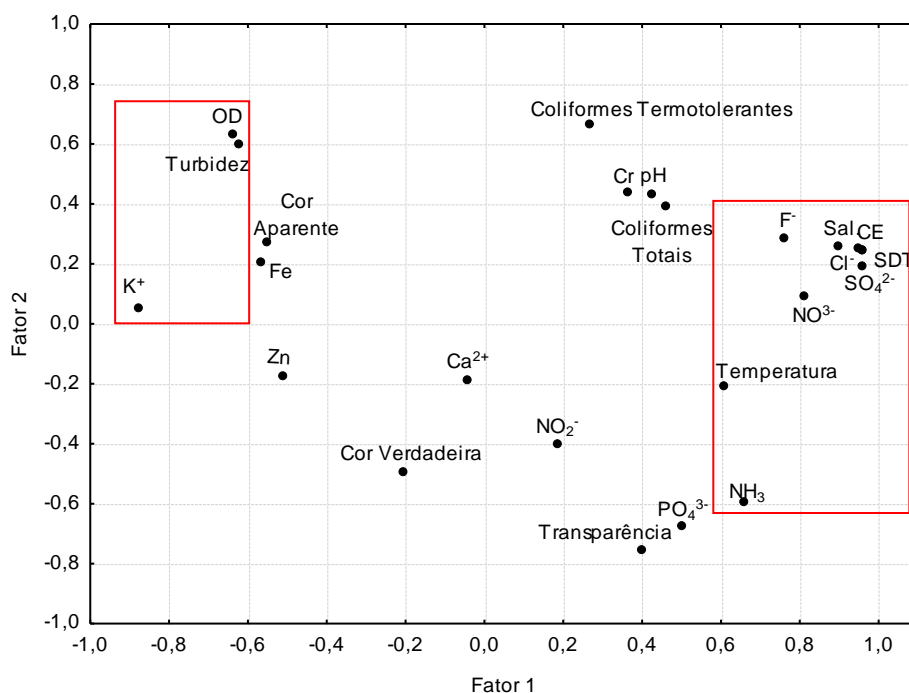


Figura 34 - Fator 1 versus Fator 2 (baixa pluviosidade).

Já no Fator 2, as variáveis coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido apresentam altas cargas positivas e as variáveis transparência e fósforo apresentam altas cargas negativas.

A figura 35 demonstra a distribuição dos pontos amostrais em função dos Fatores 1 e 2.

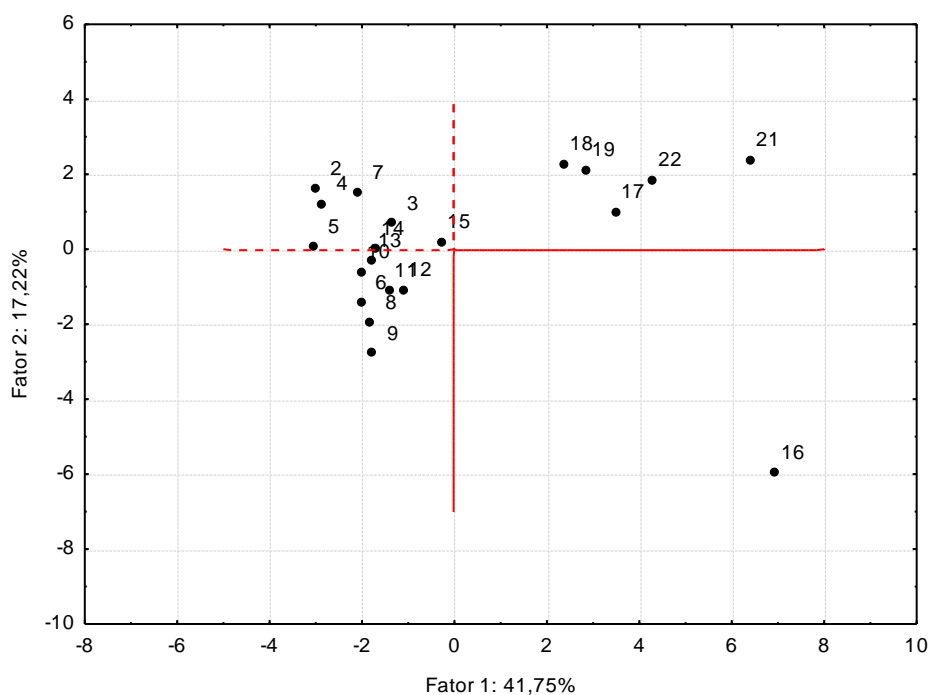


Figura 35 - Distribuição dos pontos amostrais em função dos fatores 1 e 2 (baixa pluviosidade).

Observa-se na figura 35 que os pontos amostrais P17, P18, P19, P21 e P22 encontram-se todos no lado direito e superior do gráfico, estando associados às variáveis com os altas cargas positivas nos fatores 1 e 2 (condutividade elétrica, temperatura, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, cloreto, nitrato, sulfato, amônia, coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido). Todos esses pontos estão localizados próximos à zona urbana do município de Pelotas e recebem elevadas cargas de poluentes, o que explica a relação com variáveis relacionadas a sais dissolvidos na água, a variáveis associadas ao nitrogênio, que indicam poluição por matéria orgânica, a altos índices de coliformes termotolerantes, provenientes de efluentes urbanos e a baixos teores oxigênio dissolvido, o qual é consumido justamente na degradação da matéria orgânica.

O P16 também se encontra no lado direito do gráfico estando associado às mesmas variáveis com altas cargas positivas do Fator 1, porém se distancia dos demais pontos por estar na parte inferior do gráfico, ficando dessa maneira associado às variáveis com maior carga negativa no Fator 2 (transparência e fósforo). Esse ponto corresponde à desembocadura de um canal de drenagem da zona urbana do município de Pelotas, o Canal Santa Bárbara, que acaba carreando diversos poluentes para o Canal São Gonçalo. Interessante destacar que nesse ponto amostral a transparência é maior do que em todos os outros pontos, demonstrando que a contribuição negativa do Canal Santa Bárbara está intensamente ligada a porção de material dissolvido na água e não de partículas em suspensão, como se poderia esperar.

Nesse mesmo gráfico, no lado esquerdo encontram-se todos os pontos amostrais mais a montante do canal, estando sob influência de atividades agrícolas. Estão associados a esses pontos amostrais as variáveis com maiores cargas negativas no Fator 1 (turbidez, oxigênio dissolvido e potássio). Nesses locais a turbidez é mais elevada, provavelmente associada ao carreamento de solo pra dentro do manancial, podendo ser proveniente de processos erosivos. O potássio, encontrado em altas concentrações nesses locais, pode ser proveniente do uso de fertilizantes agrícolas fosfatados. Já os teores de oxigênio dissolvido são maiores nesses pontos, demonstrando uma boa condição quanto a essa variável.

Em relação aos demais fatores, no fator 3 a única variável com carga fatorial acima de 0,6 foi o ferro. No fator 4 as variáveis com maior carga fatorial foram cor aparente e cor verdadeira. Por fim, no fator 5, a variável com maior carga fatorial foi o cálcio. Essas variáveis que apresentaram altas cargas nos fatores 3,4,5 devem ser consideradas como importantes na qualidade da água do canal, mas são menos representativas do que aquelas dos fatores 1 e 2.

Observando as cargas fatoriais das variáveis em estudo, constata-se que as variáveis coliformes totais, pH, nitrito, zinco e cromo VI apresentam baixos valores em todos os fatores (cargas inferiores a 0,6). Isso indica que na condição de baixa pluviosidade essas variáveis são pouco relevantes na avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo.

#### **4.2.2 Alta pluviosidade**

A tabela 8 apresenta as cargas fatoriais para os seis fatores relativas ao período de alta pluviosidade.

Tabela 8 - Cargas fatoriais de cada variável para os fatores selecionados dos dados de alta pluviosidade.

Variáveis	Fatores					
	1	2	3	4	5	6
Transparência	0,4585	<b>-0,6147</b>	-0,4806	-0,1018	-0,2528	-0,0989
Coliformes Totais	<b>-0,6209</b>	-0,0457	0,0071	<b>0,6087</b>	0,1723	-0,1682
Coliformes						
Termotolerantes	-0,5162	-0,2816	0,1549	0,5822	0,2805	-0,0905
pH	-0,1555	<b>0,7871</b>	-0,4893	-0,0423	-0,0228	-0,0605
Condutividade Elétrica	<b>-0,9218</b>	0,0449	-0,3141	-0,1390	-0,1251	-0,0001
Turbidez	-0,3982	<b>0,8420</b>	0,0311	0,2357	0,1608	-0,1201
Oxigênio Dissolvido	0,3913	<b>0,7500</b>	-0,2874	0,0982	-0,2543	0,0332
Temperatura	-0,3687	-0,2305	0,1923	0,5812	-0,4986	0,1298
Salinidade	<b>-0,6075</b>	-0,0545	-0,5736	-0,1274	0,2365	0,1884
Sólidos Dissolvidos						
Totais	<b>-0,9220</b>	0,0470	-0,3133	-0,1364	-0,1295	-0,0009
F <sup>-</sup>	<b>-0,9141</b>	-0,2024	0,1434	-0,0854	-0,1309	0,0622
K <sup>+</sup>	<b>-0,9392</b>	-0,0419	0,1278	-0,0936	0,0641	0,1659
Ca <sup>2+</sup>	-0,3907	0,3314	0,3790	0,0549	0,0448	-0,5568
Cl <sup>-</sup>	<b>-0,9241</b>	0,0896	-0,2574	-0,1028	-0,1781	0,0380
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,3891	-0,3017	0,3133	-0,5705	0,3441	-0,1250
Cor Aparente	0,1075	<b>0,6627</b>	<b>0,6424</b>	0,0980	0,0843	0,2410
Cor Verdadeira	0,2015	-0,4234	0,5889	0,1531	0,2129	0,2260
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,0248	0,2561	-0,1394	0,2464	0,4786	0,5880
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>-0,9326</b>	-0,1451	0,2209	-0,0693	-0,0346	0,0759
NH <sub>3</sub>	<b>-0,9529</b>	-0,0956	0,1637	-0,1305	0,0059	0,0623
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1851	<b>-0,6595</b>	-0,1582	-0,1220	0,5479	0,0186
Fe	0,0121	<b>0,7014</b>	0,1922	-0,3609	0,4868	-0,1758
Zn	-0,0398	-0,2712	-0,4275	0,3885	0,4056	-0,5350
Cr	0,0652	0,0956	-0,5938	0,2102	0,3425	0,2708
% explicação	33,9550	18,2752	12,2394	8,2911	7,8136	5,5486
% acumulada	33,9550	52,2302	64,4697	72,7607	80,5743	86,1228

Observa-se que, apesar de terem sido selecionados 6 fatores pelo método da Raiz Latente, os fatores 5 e 6 não possuem nenhuma variável com carga fatorial acima de 0,6. Assim, apenas os 4 primeiros fatores são considerados como relevantes, explicando 72,76% da variância total.

No Fator 1, as variáveis coliformes totais, condutividade elétrica, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cloreto, fosfato e nitrato

apresentaram as maiores cargas fatoriais. Essas variáveis podem ser visualizadas na figura 36, onde estão em destaque.

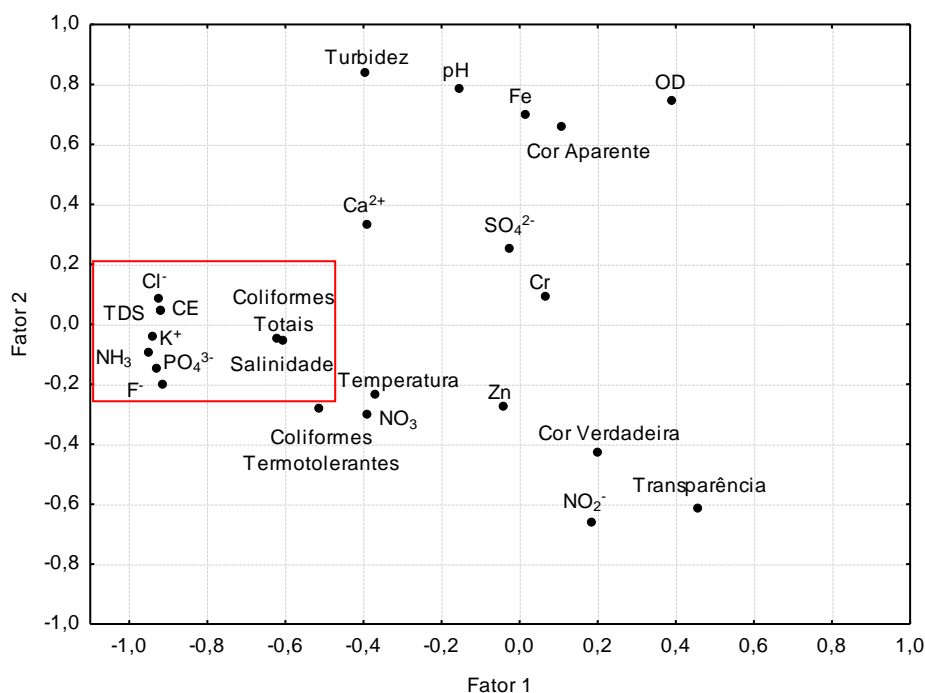


Figura 36 - Fator 1 versus Fator 2 (alta pluviosidade).

A maioria dessas variáveis também apresentou alta carga fatorial no período de baixa pluviosidade, com exceção dos coliformes totais e do fosfato, estes que só apresentaram altas cargas fatoriais no período de alta pluviosidade, provavelmente pela maior variação desses parâmetros entre os pontos nesse período.

Já no Fator 2, as variáveis pH, ferro, oxigênio dissolvido, nitrito, turbidez, cor aparente e transparência apresentam altas cargas fatoriais. Nota-se que essas três últimas variáveis estão associadas à maior pluviosidade que, por diversos processos, acaba elevando as partículas suspensas na água e interferindo nessas variáveis.

A figura 37 demonstra a distribuição dos pontos amostrais em função dos Fatores 1 e 2.

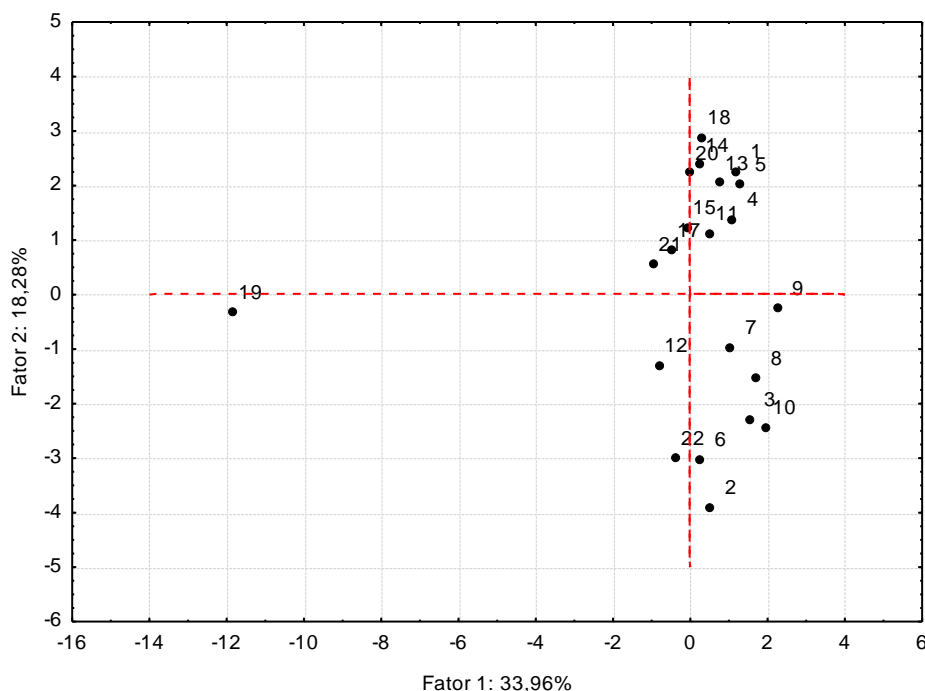


Figura 37 - Distribuição dos pontos amostrais em função dos fatores 1 e 2 (alta pluviosidade).

Observa-se na figura 33 que o ponto mais afastado no gráfico é o P19, correspondente a desembocadura do Canal do Pepino. Pela figura observa-se que o P19 está associado fortemente às variáveis com elevadas cargas negativas no fator 1 (coliformes totais, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cloreto, fosfato e amônia). Outros trabalhos já demonstraram que o Canal do Pepino é um manancial que compromete a qualidade da água do Canal São Gonçalo pela sua elevada carga de poluentes (MEDRONHA et al., 2013; SOUZA et al., 2013). No presente trabalho ficou evidente que a maior contribuição é com relação aos sólidos dissolvidos na água e a presença de nutrientes, que estão associados aos despejos de efluentes domésticos.

Na figura 37 percebe-se também que o restante dos pontos amostrais ficaram relacionados às variáveis do Fator 2 (transparência, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, cor aparente, nitrito e ferro), ou seja, para a quase totalidade dos pontos esses parâmetros são os que variam ao longo do canal no período de alta pluviosidade.

No fator 3 a única variável com carga fatorial acima de 0,6 foi a cor aparente e no fator 4 a única variável também com carga fatorial acima de 0,6

foi coliformes totais. Essas duas variáveis também apresentaram carga elevada no fator 2 e no fator 1 respectivamente.

As variáveis coliformes termotolerantes, temperatura, cálcio, nitrato, cor verdadeira, sulfato, zinco e cromo VI apresentam baixas cargas fatoriais em todos os fatores. Isso indica que na condição de alta pluviosidade essas variáveis são pouco relevantes na avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo.

#### **4.2.3 Redução de variáveis**

Uma das vantagens da aplicação ACP é a possibilidade de redução do número de variáveis, facilitando as pesquisas e diminuindo custos nas etapas de amostragem e determinações analíticas e tornando a interpretação ambiental mais objetiva e relevante.

Nesse trabalho a ACP se mostrou uma importante ferramenta na diferenciação dos parâmetros que mais influenciam na qualidade da água em cada condição pluviométrica. Muitas variáveis demonstraram ser relevantes em ambos os períodos pluviométricos, pois apresentaram altas cargas fatoriais nos Fatores 1 ou 2, sendo elas: transparência, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cloreto, fosfato e amônia. Acrescidas a essas variáveis citadas, no período de baixa pluviosidade foram também relevantes as variáveis: coliformes termotolerantes, temperatura, nitrato e sulfato; e no período de alta pluviosidade as variáveis coliformes totais, pH, cor aparente, nitrito e ferro. Sendo assim, das 24 variáveis avaliadas, 22 se mostraram importantes em um dos períodos pluviométricos ou em ambos. Somente as variáveis zinco e cromo não contribuíram para avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo, demonstrando não haver fontes significativas associadas à esses elementos.

Muitas dessas variáveis apresentaram forte correlação entre si, como por exemplo, as variáveis sólidos dissolvidos totais e cloreto, o que faz com que o monitoramento de apenas uma das variáveis já indique a magnitude da outra. Além disso, algumas variáveis se mostraram relevantes pela ACP, porém apresentaram concentrações bem abaixo dos limites estabelecidos na legislação, como por exemplo, o nitrito.



Dessa forma, é possível reduzir ainda mais o número de variáveis e indicar aquelas que são imprescindíveis no monitoramento da qualidade da água do Canal São Gonçalo no momento atual. Indica-se para isso o monitoramento pelo menos das 9 variáveis a seguir: turbidez, cor verdadeira, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, coliformes totais, coliformes termotolerantes, amônia, nitrato e potássio.

Isso não exclui a necessidade de avaliação das demais variáveis em estudos futuros, mas indica aquelas que mais auxiliam na explicação da variação espacial da qualidade da água do canal.

Importante destacar que, pela magnitude do ambiente de estudo, pela dimensão da bacia hidrográfica, pelas complexas características hidrodinâmicas e hidroquímicas do canal, pela constante influência das atividades antrópicas e, por se tratar-se de um ambiente natural, as conclusões não são definitivas, mas norteiam e servem como base para elaboração de um sistema de monitoramento, necessário para a gestão desse manancial hídrico.

## **5 Considerações Finais**

A realização desse trabalho permitiu avaliar a qualidade da água do Canal São Gonçalo em toda sua extensão e em períodos pluviométricos distintos. A avaliação demonstrou que a qualidade da água varia tanto espacial como temporalmente, considerando diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Muitos dos parâmetros avaliados ficaram em desacordo com os limites da Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005. Dessa maneira, para que o Canal São Gonçalo possa ter seus usos de acordo com a Classe 2, como por exemplo, abastecimento para atividade de pesca, e recreação de contato primário, medidas de remediação devem ser adotadas.

A variação espacial da qualidade da água do canal demonstrou estar diretamente relacionada à condição de seus afluentes. Observou-se uma distinção entre os trechos a montante e a jusante da eclusa. No trecho a jusante da eclusa a qualidade de água é mais baixa, sendo associada principalmente às entradas antrópicas urbanas e industriais. Os afluentes desse trecho são uma enorme fonte antrópica de poluição para o canal. Os locais mais críticos em termos de qualidade da água para os diversos parâmetros foram a desembocadura dos canais Santa Bárbara (P16), Pepino (P19) e Drenagem (P21). Esses canais recebem uma enorme carga de efluentes muitas vezes sem o devido tratamento e que chegam até o Canal São Gonçalo comprometendo a qualidade da água em todo o trecho próximo a zona urbana do município de Pelotas.

Em estudos anteriores outros autores já haviam identificado qualidade da água mais baixa no trecho a jusante da eclusa, porém as concentrações dos diversos parâmetros aumentaram ao longo dos anos, o que além de causar danos ambientais, limita grande parte dos usos da água nessa região.

No trecho a montante da eclusa, apesar de também existirem parâmetros em desacordo com a legislação, a qualidade da água é melhor quando comparada ao trecho a jusante da mesma. Apesar disso é necessário destacar que outros elementos podem estar presentes na água desse trecho, como agrotóxicos, que não foram avaliados nesse trabalho, mas que estão associados ao cultivo do arroz irrigado, intensamente desenvolvido na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, devendo ser investigados em estudos futuros.

Em relação às diferentes condições pluviométricas verificou-se que no período de baixa pluviosidade os parâmetros relacionados aos sólidos dissolvidos na água são os que mais contribuem para deterioração da qualidade da água, principalmente no trecho a jusante da eclusa. Já no período de alta pluviosidade há um aumento na parcela de sólidos suspensos, associados a parâmetros como turbidez, cor e coliformes. Os altos níveis de precipitação favorecem processos de lixiviação e escoamento superficial, carreando diversos elementos poluentes para dentro do manancial. Cuidados devem ocorrer para proteção das margens dos mananciais da região e também o incentivo a técnicas de manejo adequado do solo das propriedades para diminuir o aporte de compostos e sólidos para o Canal São Gonçalo.

Dentre os parâmetros de qualidade de água avaliados identificaram-se os seguintes a serem prioritariamente monitorados: turbidez, cor verdadeira, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, coliformes totais, coliformes termotolerantes, amônia, nitrato e potássio. Isso não exclui a necessidade de monitoramento das demais variáveis, mas indica aquelas que mais auxiliam na explicação da variação espacial da qualidade da água do canal.

Por fim, conclui-se que a qualidade da água do Canal São Gonçalo está em desacordo com seus atuais usos e que essa é uma situação que vem se agravando ao longo dos anos. Medidas de remediação devem ser adotadas principalmente em relação aos afluentes, para que os usos múltiplos do canal sejam garantidos e que ele se enquadre na Classe 2, o que é de interesse político, econômico, social e ambiental para toda a região.

### Referências

- AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM. **Bacia da Lagoa Mirim**. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/alm/bacia-da-lagoa-mirim>>. Acesso em: 19 set. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Padrões de Qualidade – Redes de monitoramento**. 2014. Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede\\_monitoramento.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_monitoramento.aspx)>. Acesso em: 06 ago. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**: 2012. Brasília: ANA, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas**. 2010. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br>>. Acesso em: 07 ago. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução nº 1040, de 21 de julho de 2014**. Cria o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA e dá outras providências. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2014/1040-2014.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução nº 903, de 22 de julho de 2013**. Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2013/903-2013.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2014.
- AKKOYUNLU, A.; AKINER, M. E. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. **Ecological Indicators**, v.18, p. 501-511, 2012.
- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**. v.32, n.2, p.160-166, 1998.
- AUGUSTO, L. G. da S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n.6, p.1511-1522, 2012.
- BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R.; Controle Ambiental da Água. In: PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.
- BAUMGARTEN, M. G.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas - Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio Grande: Ed. FURG, 2001.
- BERTOSSI, A. P. A. et al. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciência Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.

BHARTI, N.; KATYAL, D. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. **International journal of environmental sciencies**, v.2, n.1, 2011.

BORGES, L. **Qualidade da água do rio Vieira sob a influência da área urbana de Montes Claros MG**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

BRASIL. Decreto nº 81.351, de 17 de fevereiro de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 fev. 1978, seção 1, P. 2668.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o Art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 9 jan. 1997. p.470.

BRASIL. Lei nº. 9984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 18 jul. 2000. p.1.

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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 set. 1981.

CARDOSO, E. C. A. **Mapeamento das transformações socioambientais da Bacia Hidrográfica do Arroio Pepino, 1916 – 2011/ Pelotas (RS)**. 2012. 86 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

CARVALHO, M. E. S. Vulnerabilidade hídrica na bacia sergipana do Rio Vaza Barris. **Ra'E Ga**, Curitiba, v.25, p.186-217, 2012.

CASARIN, R.; NEVES, S. M. A. da S.; NEVES, R. J. Uso da terra e qualidade da água da Bacia Hidrográfica Paraguai/Jauquara-MT. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2, n.1, p. 33-42, 2008.

CHILUNDO, M.; KELDERMAN, P.; ÓKEEFFE, J. H. Design of a water quality monitoring network for the Limpopo River Basin in Mozambique. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.33, p. 655-665, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Índice de Qualidade das Águas. 2014**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-%28iqa%29>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Variáveis de qualidade das águas. 2014**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 274, de 29 de novembro de 2000. Define critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 jan. 2001, nº 18, seção 1, p. 70-71.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p.58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 abr. 2008. p.66-68.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 maio 2011. p. 89.

CORADI, P. C.; FIA, R.; RAMIREZ, O. P. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.4, n.2, p.46-56, 2009.

DUARTE, A. A. L. S. et al. Monitorização da Hidrodinâmica e da Qualidade da Água no Estuário do Rio Mondego. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Guimarães, n. 33, p. 65-74, 2008.

FRANÇA, M. S. et al. Análise multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água: estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu. In: **XVIII Simpósio de Recursos Hídricos**, 2009, Campo Grande.

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim. In: ALBA, J. M. F. (Ed). **Sustentabilidade Socioambiental da Bacia da Lagoa Mirim**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. p. 17-28.

GRÜTZMACHER, D. D. et al. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.632-637, 2008.

GUEDES, H. A. S. et al. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 16, n.5, p.558-563, 2012.

HAIR, J. J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HANNA INSTRUMENTS INC. Manual de Instruções: **Fotômetro de Bancada Multiparâmetros para Laboratórios – modelo HI83200**. Woonsocket, USA.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 set. 2014

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1986, 796p.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Produtividades municipais - safra 2013/14**. Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade\\_municipios\\_safra\\_13\\_14-versao\\_final.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade_municipios_safra_13_14-versao_final.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2014.

KOTZIAN, H. B.; MARQUES, D. M. Lagoa Mirim e a conversão Ramsar: um modelo para ação transfronteiriça na conservação de recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, vol. 1, n. 2, p. 101-111, 2004.

KUNDZEWICZ, Z. W.; KRYSANOVA, V. Climate change and stream water quality in the multi-factor context. **Climate Change**, 103, p. 353-362, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.9, p.937-943, 2010.

MACÊDO, J.A.B. **Águas & Águas**. 3.ed. Belo Horizonte: Editora CRQ-MG, 2007.

MACHADO, G. **Qualidade das águas no Canal São Gonçalo Rio Grande Do Sul – Brasil**. 2002. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MANKE, E. B. **Avaliação da qualidade hídrica do Arroio Pelotas como ferramenta de gestão desse ecossistema**. 2014. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Graduação em Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

MEDRONHA, G. A. et al. Avaliação da qualidade água do Canal São Gonçalo-RS através do Índice de Qualidade de Água. In: **20º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Bento Gonçalves, 2013.

MENDONÇA, E. C. C. N; SOUZA, P. S. Aplicação da técnica de análise de componentes principais para caracterização de águas de poços artesianos de áreas urbanas de Goiânia e aparecida de Goiânia. **Revista Plurais**, v. 1, n. 1, p. 19-36, 2011.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.** v.3, n.4, p.33-38, 2002.

MILANI, I. C. B. **Determinação polarográfica de metais em ambientes do Sistema Patos-Mirim**. 2004. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 de dez. 2011. Seção 1, p 39-46.

MIZERKOWSKI, B. D. et al. Environmental water quality assessment in Guaratuba Bay, state of Paraná, southern Brazil. **Brazilian Journal of oceanography**, v. 60, n.2, p. 109-115, 2012.

NAGEL, G. W. et al. Qualidade da água do Canal Santa Bárbara e influência sobre o Canal São Gonçalo. In: **XXIII Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Pelotas**, Pelotas, 2014.

OLIVEIRA, B. S. S. de; CUNHA, A. C. da. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do estado do Amapá. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 2, p. 261- 275, 2014.

PALHARES, J.C.P. et al. Impacts of mixed farms on water quality of Pinhal River sub-basin, Santa Catarina, Brazil. **Archivos de Zootecnia**, vol.61, n.236, p. 493-504, 2012.



PETER, G, D. **Santa Bárbara: o braço morto do arroio que ainda vive na memória.** 2004. Trabalho de conclusão do Módulo I. Curso de Especialização em Conservação de Patrimônio em Centros Urbanos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PINHEIRO, A. et al. Concentrações e cargas de nitrato e fosfato na bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.17, n.1, p.86-93, 2013.

PORTO, L. C. S; ETHUR, E. M. Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n.9, p. 2512-2518, 2009.

PRASAD, P. et al. Water Quality analysis of surface water: a Web approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, n.7, p.5987-5992, 2013.

QUEIJO, D. Por mais 40 anos de abastecimento. **Diário Popular**, Pelotas, 3 jun. 2014, P. 9.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. **Dados físicos e econômicos.** Disponível em: <[http://www.pelotas.com.br/cidade\\_dados/pelotas\\_dados.htm](http://www.pelotas.com.br/cidade_dados/pelotas_dados.htm)>. Acesso em: 15 set. 2014.

RAMOS, M. F. **Avaliação do estado trófico dos principais mananciais da cidade de Pelotas/RS.** 2013. Trabalho de conclusão de curso. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Instituto Federal Sul-rio-grandense, 2013.

REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.13, n.3, p. 353-362, 2009.

REPULA, C. M. M.; QUINÁIA, S.P. Avaliação da qualidade das águas do córrego Viaduto utilizando análise de componentes principais. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 5, n. 3, p. 433-442, 2009.

SÁ, M. U. de. **Avaliação da Mutagenicidade das Águas do Canal São Gonçalo, Pelotas, RS, 2005.** Monografia de conclusão de curso, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pelotas, 2005.

SABINO, C. V. S. et al. Análise de alguns aspectos da qualidade da água da Bacia do Rio Paraoíba utilizando estatística multivariada. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 8, n. 2, p. 8-18, 2008.

SANCHES FILHO, P. J. et al. Caracterização ambiental e determinação de alumínio nas águas do Canal Santa Bárbara, Pelotas-RS. In: **49º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**, Porto Alegre, 2009.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, F. A. C (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008.

SILVA, S. C. da.; RIBEIRO, M. M. R. Enquadramento dos corpos d'água e cobrança pelo uso da água na bacia do Rio Pirapama – PE. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.11, n.4, p. 371-379, 2006.

SIMON, A. L. H. et al. Impactos ambientais e estado de degradação ambiental do Canal do Santa Bárbara, município de Pelotas, R.S. In: **10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, Rio de Janeiro, 2003.

SOSINSKI, L. T. W. **Caracterização da Bacia Hidrográfica Mirim – São Gonçalo e o uso dos recursos naturais**. Pelotas: EMBRAPA, 2009, 35 p.

SOUZA, M. F. et al. Monitoramento da qualidade da água de um manancial hídrico sob influência de atividades antrópicas, no município de Pelotas, RS – Brasil. In: **20º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Bento Gonçalves, 2013.

SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.** v.19, n.3, p.263-274, 2014.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

STROBL, R. O.; ROBILLARD, P. D. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: a review. **Journal of Environmental Management**, v.87, p. 639-648, 2008.

TELLES, R. M. **Inundações urbanas nos municípios de Pedro Osório e Cerrito-RS**. 2002. 74p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociência da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VINATEA ARANA, L. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1997. 166p.

## **Apêndices**

**Apêndice A** - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas e análise estatística descritiva do período de baixa pluviosidade.

Ponto	Profund.	Transp. (cm)	C.T (UFC.100mL <sup>-1</sup> )	C. Te. (UFC/100mL <sup>-1</sup> )	pH	CE (μs.cm <sup>-1</sup> )	Turb. (NTU)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)	Sal. (%)	SDT (mg L <sup>-1</sup> )	F <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )
1	2,9	30	7920	0	7,30	142	87,05	9,96	16,3	0,01	92,50	18,20	2420,00	10,00	0,99	3,97
2	3,1	30	7200	360	7,20	148	106,00	10,03	16,0	0,01	96,00	0,42	1090,00	70,00	1,25	4,99
3	2,6	30	13740	480	7,23	139	48,70	9,64	16,3	0,01	90,50	0,10	995,00	20,00	0,98	6,90
4	9,9	30	12960	480	7,08	140	74,40	10,15	16,0	0,01	91,00	0,07	1330,00	0,00	1,24	6,89
5	2,7	32	10860	0	7,11	139	92,75	9,97	16,6	0,01	90,50	0,07	1300,00	70,00	1,26	7,35
6	2,1	32	10260	0	7,32	139	46,80	9,95	16,9	0,01	90,00	0,05	1300,00	0,00	1,06	6,50
7	2,3	29	14940	420	7,43	140	64,20	10,06	17,6	0,01	90,50	0,09	2040,00	0,00	1,40	6,12
8	2,9	35	3180	0	7,13	117	43,20	9,25	17,4	0,00	75,50	0,03	808,00	0,00	0,93	11,00
9	2,2	37	780	0	7,05	82	32,75	9,43	17,6	0,00	53,00	0,02	1330,00	20,00	0,32	6,85
10	2,8	32	5640	600	7,27	134	56,00	9,46	18,2	0,00	87,00	0,04	2010,00	10,00	1,58	11,40
11	1,8	37	6480	900	7,23	139	36,95	10,17	16,8	0,01	90,50	0,04	1630,00	50,00	1,31	16,20
12	1,2	32	6060	240	7,51	136	37,80	9,85	17,8	0,01	88,50	0,05	1960,00	20,00	1,15	12,50
13	7,6	30	9120	0	7,20	140	51,00	10,04	16,9	0,01	91,00	0,05	1460,00	50,00	1,19	14,70
14	7,8	30	8820	900	7,22	141	54,95	9,94	16,7	0,01	92,00	0,05	2400,00	10,00	1,51	16,70
15	3,6	31	4380	0	7,34	348	50,45	9,73	17,1	0,01	226,00	0,10	1520,00	20,00	7,07	20,00
16	1,9	46	15240	0	7,20	2010	19,70	5,31	18,0	0,10	1285,00	0,39	147,00	20,00	82,90	23,10
17	1,5	33	11940	2760	7,45	1360	40,70	9,77	18,1	0,06	875,00	0,40	686,00	50,00	63,00	23,50
18	7,2	31	6960	900	7,46	1050	48,50	9,80	17,3	0,05	670,00	0,24	930,00	0,00	51,80	28,20
19	0,8	30	7920	1500	7,60	1725	43,25	9,69	17,4	0,08	1105,00	0,37	551,00	10,00	101,00	15,10
20	8,3	31	10200	660	7,48	1455	44,80	9,75	17,3	0,07	930,00	0,24	637,00	90,00	82,00	42,50
21	1,2	37	30780	4620	7,41	4110	38,65	9,31	17,8	0,21	2630,00	0,56	202,00	10,00	229,00	36,90
22	3,5	27	26580	1860	7,25	2600	49,20	8,43	18,2	0,13	1665,00	0,20	186,00	0,00	104,00	27,30
Mínimo	0,8	27	780	0	7,05	82	19,70	5,31	16,0	0,00	53,00	0,02	147,00	0,00	0,32	3,97
Máximo	9,9	46	30780	4620	7,60	4110	106,00	10,17	18,2	0,21	2630,00	18,20	2420,00	90,00	229,00	42,50
Média	3,6	32	10544	758	7,29	751	53,08	9,53	17,2	0,04	482,02	0,99	1224,18	24,09	33,50	15,84
DP	0,4	4	6960	1114	0,15	1062	20,55	1,02	0,7	0,05	679,21	3,85	678,92	26,84	57,36	10,64

continuação.

Ponto	Cor A. (PCU)	Cor V. (PCU)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	P (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	NaNO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Cr (mg L <sup>-1</sup> )
1	202	85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	1,36	1,44	0,00	0,00	0,00	0,19	0,06	0,00
2	285	103	0,00	0,02	0,01	0,02	1,59	1,93	2,05	0,00	0,00	0,00	0,66	0,02	0,01
3	167	57	0,00	0,03	0,01	0,02	1,30	1,58	1,68	0,01	0,00	0,01	0,19	0,00	0,01
4	270	71	0,00	0,05	0,01	0,02	1,24	1,50	1,60	0,01	0,00	0,01	0,36	0,03	0,01
5	259	82	0,00	0,09	0,03	0,07	1,15	1,39	1,48	0,00	0,00	0,00	0,24	0,10	0,02
6	300	131	0,00	0,23	0,08	0,18	1,75	2,12	2,25	0,05	0,01	0,07	0,19	0,08	0,02
7	274	77	0,00	0,15	0,05	0,11	1,31	1,59	1,69	0,00	0,00	0,01	0,25	0,05	0,02
8	204	97	0,00	0,12	0,04	0,09	1,65	2,01	2,13	0,01	0,00	0,01	0,23	0,07	0,01
9	135	77	0,00	0,02	0,00	0,01	1,58	1,93	2,04	0,01	0,00	0,02	0,10	0,03	0,02
10	271	147	0,00	0,07	0,02	0,05	1,99	2,42	2,57	0,01	0,00	0,02	0,33	0,07	0,02
11	203	88	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	2,09	2,22	0,02	0,01	0,03	0,20	0,05	0,01
12	226	118	0,00	0,15	0,05	0,11	2,21	2,69	2,85	0,02	0,01	0,03	0,16	0,06	0,01
13	222	64	0,00	0,21	0,07	0,16	1,56	1,90	2,01	0,01	0,00	0,02	0,20	0,06	0,02
14	217	89	0,00	0,25	0,08	0,18	2,21	2,67	2,83	0,02	0,00	0,02	0,26	0,08	0,02
15	233	91	10,00	0,13	0,04	0,09	1,16	1,41	1,50	0,01	0,00	0,02	0,16	0,01	0,02
16	158	114	80,00	2,35	0,77	1,76	7,49	9,11	9,67	0,03	0,01	0,05	0,11	0,01	0,01
17	172	82	55,00	0,09	0,03	0,07	2,69	3,27	3,46	0,02	0,01	0,03	0,17	0,03	0,03
18	205	75	30,00	0,04	0,01	0,03	1,13	1,38	1,46	0,03	0,04	0,04	0,11	0,02	0,04
19	203	64	45,00	0,00	0,00	0,00	1,63	1,98	2,10	0,01	0,00	0,01	0,12	0,02	0,01
20	217	77	35,00	0,30	0,10	0,22	2,61	3,17	3,36	0,36	0,11	0,53	0,10	0,00	0,02
21	146	48	200,00	0,05	0,02	0,04	2,36	2,86	3,04	0,01	0,00	0,01	0,14	0,04	0,03
22	244	99	60,00	0,33	0,11	0,25	2,25	2,74	2,91	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,02
Mínimo	135	48	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	1,36	1,44	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Máximo	300	147	200,00	2,35	0,77	1,76	7,49	9,11	9,67	0,36	0,11	0,53	0,66	0,10	0,04
Média	219	88	23,41	0,21	0,07	0,16	1,99	2,41	2,56	0,03	0,01	0,04	0,21	0,04	0,02
DP	46	24	46,40	0,49	0,16	0,37	1,32	1,61	1,71	0,07	0,02	0,11	0,12	0,03	0,01

\*Profund.= Profundidade; Transp.= Transparência; C.T.= Coliformes Totais; C.Te.= Coliformes Termotolerantes; CE= Condutividade Elétrica; Turb.= Turbidez; OD= Oxigênio Dissolvido; Temp.= Temperatura; Sal.= Salinidade; SDT= Sólidos Dissolvidos Totais; Cor A.= Cor Aparente; Cor V.= Cor Verdadeira; DP= Desvio Padrão.

**Apêndice B** - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas e análise estatística descritiva do período de alta pluviosidade.

Ponto	Profund.	Transp. (cm)	C.T (UFC.100mL <sup>-1</sup> )	C. Te. (UFC/100mL <sup>-1</sup> )	pH	CE (μs.cm <sup>-1</sup> )	Turb. (NTU)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)	Sal. (%)	SDT (mg L <sup>-1</sup> )	F <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )
1	2,9	23	4480	160	7,03	99	88,40	8,54	19,9	0,00	64,00	0,00	1,00	20,00	4,42	2,60
2	3,1	54	5920	400	6,66	119	20,10	3,57	19,6	0,10	77,00	0,15	1,00	0,00	5,30	3,46
3	2,6	47	6400	320	6,77	106	24,20	5,30	19,6	0,00	69,00	0,00	1,00	0,00	5,81	3,06
4	9,9	33	4560	320	7,27	111	69,50	8,24	19,5	0,10	72,00	0,00	0,50	0,00	6,16	2,96
5	1,5	33	4320	0	7,29	112	70,10	8,44	19,6	0,10	73,00	0,00	1,00	0,00	7,44	2,32
6	3,0	48	7760	2080	6,90	119	27,80	3,18	19,9	0,10	77,00	0,00	1,50	0,00	6,93	3,09
7	2,0	47	4080	160	6,72	117	30,70	7,88	20,1	0,10	76,00	0,00	1,50	0,00	7,65	1,48
8	3,6	35	5040	1360	6,39	68	31,80	3,46	19,9	0,00	44,00	0,00	1,50	40,00	1,73	4,80
9	3,5	28	4560	1200	6,72	63	49,70	5,86	19,9	0,00	41,00	0,00	1,00	0,00	2,37	3,00
10	1,3	30	5680	560	6,13	65	30,90	2,36	20,4	0,00	42,00	0,00	1,00	10,00	2,52	3,33
11	2,4	31	2800	400	6,81	115	72,20	6,93	20,7	0,10	75,00	0,00	1,50	10,00	7,16	1,35
12	1,8	53	5680	1200	6,81	143	38,50	5,54	21,5	0,10	93,00	0,01	1,50	70,00	13,70	3,39
13	9,0	34	9600	400	7,19	106	77,80	7,45	20,1	0,00	69,00	0,00	1,00	20,00	6,53	1,32
14	8,3	32	8320	240	7,21	107	92,00	7,77	20,1	0,00	70,00	0,00	1,50	50,00	6,70	3,08
15	3,8	31	7600	640	7,10	108	65,10	7,04	20,4	0,00	70,00	0,11	1,50	30,00	7,11	3,23
16	2,5	34	11120	10400	6,32	231	43,70	5,31	21,2	0,10	150,00	0,42	3,50	0,00	12,50	1,02
17	1,8	29	11600	2000	6,89	111	75,80	6,85	20,2	0,10	72,00	0,00	2,50	20,00	7,46	3,03
18	9,0	26	6480	720	7,32	109	88,90	7,39	20,4	0,01	71,00	0,00	1,00	20,00	7,25	1,54
19	1,0	18	24800	22240	6,98	458	120,00	2,34	21,0	0,20	298,00	0,78	18,50	70,00	99,00	6,62
20	8,0	28	10320	1680	7,26	108	88,20	7,34	20,1	0,10	70,00	0,00	2,00	0,00	6,45	1,71
21	1,2	28	30800	12080	7,05	112	146,00	6,85	20,3	0,10	73,00	0,00	1,00	30,00	6,36	1,56
22	4,2	38	16880	4240	6,47	101	31,60	4,75	22,8	0,00	66,00	0,18	1,50	0,00	6,31	1,28
Mínimo	1,0	18	2800	0	6,13	63	20,10	2,34	19,5	0,00	41,00	0,00	0,50	0,00	1,73	1,02
Máximo	9,9	54	30800	22240	7,32	458	146,00	8,54	22,8	0,20	298,00	0,78	18,50	70,00	99,00	6,62
Média	3,9	34	9036	2855	6,88	127	62,86	6,02	20,3	0,06	82,36	0,08	2,18	17,73	10,77	2,69
DP	0,9	10	6932	5369	0,34	81	33,28	1,99	0,8	0,06	52,60	0,19	3,70	22,45	19,89	1,31

continuação.

Ponto	Cor A. (PCU)	Cor V. (PCU)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	P (mg L <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	NaNO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Cr (mg L <sup>-1</sup> )
1	510	186	0,00	0,01	0,00	0,00	0,16	0,20	0,21	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
2	196	86	0,00	0,10	0,03	0,07	0,17	0,20	0,22	0,12	0,04	0,18	0,12	0,01	0,00
3	257	145	0,00	0,02	0,01	0,02	0,27	0,32	0,34	0,08	0,02	0,11	0,13	0,00	0,00
4	399	154	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,23	0,24	0,01	0,00	0,02	0,25	0,00	0,01
5	370	112	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,24	0,26	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
6	217	105	0,00	0,03	0,01	0,02	0,29	0,35	0,37	0,11	0,03	0,16	0,14	0,01	0,02
7	237	118	0,00	0,02	0,01	0,01	0,25	0,30	0,32	0,01	0,00	0,01	0,16	0,00	0,00
8	378	239	0,00	0,06	0,02	0,05	0,27	0,33	0,35	0,02	0,01	0,03	0,26	0,00	0,00
9	443	254	0,00	0,11	0,04	0,08	0,19	0,23	0,25	0,02	0,01	0,03	0,23	0,00	0,00
10	469	296	0,00	0,08	0,03	0,06	0,29	0,35	0,37	0,10	0,03	0,15	0,29	0,00	0,00
11	359	91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,24	0,25	0,02	0,01	0,04	0,27	0,00	0,01
12	230	89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,28	0,30	0,01	0,00	0,01	0,14	0,00	0,00
13	408	72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
14	451	63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,24	0,26	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
15	374	90	0,00	0,03	0,01	0,03	0,20	0,25	0,26	0,00	0,00	0,01	0,27	0,00	0,00
16	332	66	0,00	1,81	0,59	1,35	0,26	0,30	0,34	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
17	379	141	15,00	0,03	0,01	0,02	0,18	0,22	0,24	0,10	0,03	0,15	0,39	0,00	0,00
18	440	50	0,00	0,08	0,03	0,06	0,10	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,01
19	339	107	0,00	2,50	0,82	1,87	29,90	36,40	38,60	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00
20	451	95	40,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,25	0,26	0,01	0,00	0,02	0,23	0,00	0,01
21	287	162	0,00	0,08	0,03	0,06	0,40	0,49	0,52	0,02	0,01	0,03	0,23	0,02	0,01
22	359	230	0,00	0,29	0,10	0,22	0,49	0,60	0,63	0,01	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00
Mínimo	196	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Máximo	510	296	40,00	2,50	0,82	1,87	29,90	36,40	38,60	0,12	0,04	0,18	0,39	0,02	0,02
Média	358	134	2,50	0,24	0,08	0,18	1,58	1,92	2,04	0,03	0,01	0,04	0,23	0,00	0,00
DP	89	68	8,96	0,63	0,21	0,47	6,33	7,70	8,17	0,04	0,01	0,06	0,08	0,01	0,01

\*Profund.= Profundidade; Transp.= Transparência; C.T.= Coliformes Totais; C.Te.= Coliformes Termotolerantes; CE= Condutividade Elétrica; Turb.= Turbidez; OD= Oxigênio Dissolvido; Temp.= Temperatura; Sal.= Salinidade; SDT= Sólidos Dissolvidos Totais; Cor A.= Cor Aparente; Cor V.= Cor Verdadeira; DP= Desvio Padrão.

### Apêndice C - Matriz de correlação baixa pluviosidade.

	Transp.	C.T.	C.Te.	pH	CE	Turb.	OD	Temp.	Sal.	SDT	F <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cor A.	Cor V.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Fe	Zn	Cr
Transp.	1,00																							
C.T.	-0,18	1,00																						
C.Te.	-0,35	0,45	1,00																					
pH	-0,21	0,29	0,49	1,00																				
CE	0,18	0,54	0,37	0,50	1,00																			
Turb.	-0,69	0,12	0,14	-0,18	-0,40	1,00																		
OD	-0,67	-0,20	0,26	0,13	-0,48	0,63	1,00																	
Temp.	0,28	0,02	0,09	0,41	0,51	-0,61	-0,43	1,00																
Sal.	0,22	0,60	0,39	0,35	0,92	-0,35	-0,42	0,45	1,00															
SDT	0,18	0,54	0,37	0,50	1,00	-0,40	-0,48	0,51	0,92	1,00														
F <sup>-</sup>	0,23	0,47	0,40	0,42	0,82	-0,15	-0,36	0,20	0,78	0,82	1,00													
K <sup>+</sup>	-0,39	-0,48	-0,10	-0,10	-0,85	0,46	0,70	-0,42	-0,87	-0,85	-0,72	1,00												
Ca <sup>2+</sup>	0,29	-0,16	-0,10	-0,09	-0,09	-0,02	-0,01	-0,13	-0,10	-0,09	0,17	0,10	1,00											
Cl <sup>-</sup>	0,18	0,50	0,38	0,52	1,00	-0,40	-0,45	0,53	0,90	1,00	0,81	-0,82	-0,10	1,00										
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,23	0,32	0,29	0,41	0,79	-0,53	-0,35	0,57	0,71	0,79	0,47	-0,57	0,01	0,80	1,00									
Cor A.	-0,60	0,17	-0,01	0,00	-0,38	0,71	0,38	-0,33	-0,42	-0,38	-0,34	0,45	-0,29	-0,39	-0,44	1,00								
Cor V.	0,12	-0,22	-0,26	-0,09	-0,26	-0,04	-0,24	0,25	-0,37	-0,26	-0,30	0,19	-0,09	-0,27	-0,17	0,48	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,24	0,44	0,30	0,49	0,99	-0,45	-0,48	0,53	0,88	0,99	0,80	-0,83	-0,06	0,99	0,81	-0,45	-0,26	1,00						
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,58	0,26	-0,35	-0,13	0,33	-0,54	-0,93	0,32	0,26	0,33	0,22	-0,52	0,01	0,31	0,27	-0,19	0,33	0,33	1,00					
NH <sub>3</sub>	0,67	0,26	-0,04	0,04	0,48	-0,68	-0,86	0,52	0,45	0,48	0,44	-0,61	0,17	0,46	0,43	-0,39	0,31	0,47	0,85	1,00				
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,35	-0,03	-0,17	0,22	0,08	-0,50	-0,21	0,10	-0,02	0,08	-0,03	-0,01	-0,19	0,09	0,19	-0,08	0,33	0,10	0,33	0,34	1,00			
Fe	-0,28	0,01	0,13	-0,31	-0,47	0,74	0,32	-0,58	-0,40	-0,46	-0,01	0,39	0,15	-0,48	-0,58	0,58	0,23	-0,51	-0,24	-0,24	-0,32	1,00		
Zn	-0,01	-0,14	-0,27	-0,16	-0,52	0,26	0,35	-0,07	-0,39	-0,52	-0,49	0,52	0,03	-0,51	-0,28	0,37	0,28	-0,54	-0,17	-0,16	0,14	0,19	1,00	
Cr	-0,22	0,14	0,23	0,32	0,44	0,03	0,13	0,26	0,38	0,44	0,29	-0,16	-0,25	0,46	0,52	-0,14	-0,19	0,47	-0,15	-0,13	0,18	-0,28	-0,11	1,00

\*Transp.= Transparência; C.T.= Coliformes Totais; C.Te.= Coliformes Termotolerantes; CE= Condutividade Elétrica; Turb.= Turbidez; OD= Oxigênio Dissolvido; Temp.= Temperatura; Sal.= Salinidade; SDT= Sólidos Dissolvidos Totais; Cor A.= Cor Aparente; Cor V.= Cor Verdadeira.



### Apêndice D - Matriz de correlação alta pluviosidade.

	Transp.*	C.T.	C.Te.	pH	CE	Turb.	OD	Temp.	Sal.	SDT	F <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cor A.	Cor V.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Fe	Zn	Cr
Transp.	1,00																							
C.T.	-0,31	1,00																						
C.Te.	-0,21	0,67	1,00																					
pH	-0,31	0,12	-0,24	1,00																				
CE	-0,25	0,46	0,30	0,34	1,00																			
Turb.	-0,80	0,39	0,12	0,70	0,34	1,00																		
OD	-0,08	-0,24	-0,46	0,68	-0,21	0,47	1,00																	
Temp.	-0,03	0,41	0,47	-0,30	0,25	-0,01	-0,23	1,00																
Sal.	-0,04	0,23	0,16	0,23	0,72	0,21	-0,14	0,01	1,00															
SDT	-0,25	0,46	0,30	0,34	1,00	0,34	-0,20	0,25	0,72	1,00														
F <sup>-</sup>	-0,37	0,52	0,44	-0,05	0,81	0,15	-0,52	0,38	0,45	0,81	1,00													
K <sup>+</sup>	-0,46	0,51	0,48	0,01	0,82	0,29	-0,45	0,33	0,55	0,82	0,87	1,00												
Ca <sup>2+</sup>	-0,43	0,28	0,32	0,07	0,26	0,49	-0,06	0,25	-0,06	0,26	0,21	0,36	1,00											
Cl <sup>-</sup>	-0,29	0,47	0,30	0,34	0,98	0,38	-0,18	0,34	0,68	0,98	0,80	0,83	0,29	1,00										
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,09	0,02	0,16	-0,22	0,28	-0,17	-0,58	-0,21	0,17	0,28	0,45	0,46	0,27	0,25	1,00									
Cor A.	-0,75	-0,05	-0,11	0,20	-0,30	0,55	0,30	-0,02	-0,45	-0,29	-0,12	-0,04	0,26	-0,23	-0,10	1,00								
Cor V.	-0,08	-0,01	0,15	-0,67	-0,43	-0,30	-0,33	0,08	-0,23	-0,43	-0,05	-0,11	-0,21	-0,42	0,20	0,18	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,18	0,22	0,17	0,20	-0,01	0,23	0,19	-0,06	0,24	-0,01	-0,12	0,16	-0,11	0,01	-0,11	0,22	-0,06	1,00						
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,49	0,53	0,48	-0,06	0,79	0,24	-0,54	0,35	0,46	0,79	0,96	0,91	0,25	0,79	0,45	-0,03	0,03	-0,11	1,00					
NH <sub>3</sub>	-0,49	0,51	0,45	0,00	0,84	0,28	-0,51	0,28	0,53	0,84	0,93	0,93	0,29	0,84	0,49	-0,05	-0,01	-0,08	0,98	1,00				
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,43	-0,03	0,12	-0,49	-0,18	-0,59	-0,53	-0,24	0,09	-0,18	-0,11	-0,11	-0,30	-0,24	0,27	-0,45	0,21	0,14	-0,14	-0,15	1,00			
Fe	-0,57	-0,19	-0,21	0,40	-0,06	0,60	0,29	-0,55	0,02	-0,06	-0,20	0,04	0,47	-0,04	0,18	0,53	-0,21	0,20	-0,09	-0,02	-0,16	1,00		
Zn	0,18	0,44	0,32	0,02	0,04	0,05	-0,16	-0,12	0,29	0,04	-0,04	-0,13	-0,04	-0,04	-0,09	-0,50	0,01	-0,12	-0,05	-0,04	0,34	-0,16	1,00	
Cr	0,08	-0,07	0,11	0,32	0,06	0,11	0,09	-0,07	0,39	0,05	-0,25	-0,12	-0,27	0,03	-0,23	-0,13	-0,21	0,27	-0,21	-0,16	0,15	0,01	0,26	1,00

\*Transp.= Transparência; C.T.= Coliformes Totais; C.Te.= Coliformes Termotolerantes; CE= Condutividade Elétrica; Turb.= Turbidez; OD= Oxigênio Dissolvido; Temp.= Temperatura; Sal.= Salinidade; SDT= Sólidos Dissolvidos Totais; Cor A.= Cor Aparente; Cor V.= Cor Verdadeira.