

## BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS (RS): INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA

**Sumirê da Silva Hinata<sup>1</sup>**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Porto Alegre, RS, Brasil

**Luís Alberto Basso<sup>2</sup>**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Porto Alegre, RS, Brasil

**Alexandre Edson Perin Wentz<sup>3</sup>**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Porto Alegre, RS, Brasil

**Leonardo Fernandes Wink<sup>4</sup>**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Porto Alegre, RS, Brasil

Enviado em 26 out. 2021 | Aceito em 15 mar. 2022

**Resumo:** A bacia hidrográfica do rio dos Sinos (BHS), localiza-se na porção leste do estado do Rio Grande do Sul e abrange, em seus 3.696 km<sup>2</sup>, diferentes classes de uso e cobertura do solo. Este artigo apresenta a divisão da BHS em sub-bacias, com seus respectivos percentuais de classes Antrópico rural, Antrópico urbano, Campestre e Florestal, e tem por objetivo relacioná-las a 11 pontos de monitoramento da qualidade da água, controlados no período entre 2007 a 2013. A análise constatou que a classe Antrópico rural predomina na bacia, com 54,92% da área total, seguida da classe Florestal, com 35,27%, concluindo-se que os melhores resultados da qualidade da água estão associados ao maior grau de conservação das sub-bacias, e a piora na qualidade ocorre gradualmente, em direção à foz, onde há maior influência das áreas urbanas, da atividade industrial e da agropecuária. Recomenda-se a recuperação de cursos d'água com qualidade degradada e a aplicação de ações de preservação e de manutenção da cobertura vegetal natural das áreas de nascentes.

**Palavras-chave:** Poluição hídrica. Resolução CONAMA N° 357/2005. Cobertura vegetal. Atividade agrícola. Influência urbana.

---

1. Bacharel em geografia, Mestre e Doutora em Análise Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Campus Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113/203, Porto Alegre/RS, CEP: 91540000, bolsista CAPES/PROEX. E-mail: sumire.hinata@ufrgs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-3308>.

2. Doutor em Geografia Física (Universidade de Zaragoza/Espanha), Professor Titular do Departamento de Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Campus Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113/203, Porto Alegre/RS, CEP: 91540000. E-mail: luis.basso@ufrgs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1014-8039>.

3. Bacharel e Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Campus Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113/203, Porto Alegre/RS, CEP: 91540000. E-mail: alexandrewentz.geo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3493-0009>.

4. Graduando do curso de Bacharel em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43.136, Porto Alegre/RS, CEP: 91540000. E-mail: leonardofwink@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9097-8464>.

## RIO DOS SINOS HYDROGRAPHIC BASIN: LAND USE AND LAND COVER INFLUENCE ON WATER QUALITY

**Abstract:** The Rio dos Sinos Hydrographic Basin (RSHB), located in the eastern portion of the state of Rio Grande do Sul, in its 3,696 km<sup>2</sup>, covers different classes of land use and land cover. This article presents the division of the RSHB in sub-basins, with their respective percentages of Rural anthropic, Urban anthropic, Grassland and Forestry classes, aiming to relate each one of them to eleven water quality monitoring points, checked in the period between 2007 and 2013. The water analysis found that the Rural anthropic class predominates in the basin, with 54.92% of the total area, followed by the Forestry class, with 35.27%, and concluded that the best results of water quality are associated with the highest degree of conservation of the sub-basins, and the worsening in quality occurs gradually, towards its mouth, which has the greater influence of urban areas, industrial activity and agriculture. It is recommended that watercourses with degraded quality be restored and that actions be taken to preserve and maintain the natural vegetation cover in the spring areas.

**Keywords:** Water pollution. CONAMA Resolution 357/2005. Vegetal cover. Agricultural activity. Urban influence.

## LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA RIVIÈRE DOS SINOS (RS): INFLUENCE DE L'UTILISATION ET DE LA COUVERTURE DU SOL SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

**Résumé:** Le bassin hydrographique de la rivière des Sinos (BHS) est situé dans la partie est de l'État de Rio Grande do Sul et couvre une superficie de 3.696 km<sup>2</sup>, avec différentes classes d'utilisation et de couverture des sols. Cet article présente la division de la BHS en sous-bassins, avec leurs pourcentages respectifs de classes Anthropique rurale, Anthropique urbaine, Campestre et Forestière, dans le but de les relier à 11 points de surveillance de la qualité de l'eau, contrôlés sur la période de 2007 à 2013. L'analyse a révélé que la classe Anthropique rurale prédomine dans le bassin, avec 54,92% de la superficie totale, suivie de la classe Forestière, avec 35,27%. On en conclut que les meilleurs résultats en termes de qualité de l'eau sont associés à un plus grand degré de conservation des sous-bassins, et que la détérioration de la qualité se produit progressivement en direction de l'embouchure, où l'influence des zones urbaines, de l'activité industrielle et de l'agriculture est plus forte. Il est recommandé de restaurer les cours d'eau présentant une qualité dégradée et de mettre en œuvre des actions de préservation et de maintien de la couverture végétale naturelle des zones de source.

**Mots-clés:** Pollution de l'eau. Résolution CONAMA n° 357/2005. Couverture végétale. Activité agricole. Influence urbaine.



## Introdução

A qualidade da água em uma bacia hidrográfica é a expressão da ação de fenômenos que ocorrem em seu interior, e alterações do uso e cobertura do solo são alguns dos principais agentes condicionantes de uma bacia hidrográfica. A presença de maior ou menor cobertura florestal natural, vegetação campestre, áreas de uso antrópico rural e urbano, por exemplo, definem maior ou menor nível de poluição hídrica, e sua quantificação permite uma avaliação ambiental mais detalhada. Áreas com cobertura natural e boa qualidade da água de seus cursos são resultado da interação entre aspectos climáticos, geológicos, pedológicos e da vegetação da bacia hidrográfica.

A evolução natural e as atividades antrópicas promovem mudanças contínuas ao meio ambiente, sendo fundamental a observação quanto às formas de usos do solo, a fim de identificar, monitorar, eliminar ou minimizar fenômenos que possam desencadear processos predominantemente antrópicos (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Bacias hidrográficas que mantêm sua cobertura florestal natural recebem a proteção da vegetação contra a erosão do solo, a lixiviação excessiva de nutrientes e a elevação da temperatura da água (SOPPER, 1975). Locais com cobertura florestal não degradada são a melhor condição do ponto de vista da proteção dos recursos hídricos, sendo uma referência para o monitoramento simultâneo e a comparação com outras bacias já impactadas (ARCOVA; CICCIO, 1999).

A qualidade das águas em uma bacia é inversamente proporcional à proximidade de áreas antropizadas, e a presença de espaços de vegetação natural preservada tem considerável relação com uma boa qualidade da água (PEREIRA *et al.*, 2016). Em áreas com cobertura vegetal natural

adequada, o escoamento superficial é reduzido, em função da maior cobertura do solo, permitindo a diminuição de processos erosivos e lixiviação dos solos para os cursos d'água, favorecendo a sua qualidade (DECHEN *et al.*, 2015).

Alterações da qualidade da água em bacias hidrográficas podem ser avaliadas através de diferentes perspectivas de monitoramento que levam em consideração os principais aspectos de sua deterioração: variação de parâmetros de qualidade de águas superficiais associada ao tratamento de esgotos (SAAD *et al.*, 2015); impactos de diferentes usos do solo sobre a qualidade das águas (OKUMURA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2019; BASSO; RIGHI; ROCHA, 2017; FREIRE; CASTRO, 2014); controle qualitativo e quantitativo das águas para fins de irrigação e diferentes influências de uso e ocupação do solo (PARRERIA; SANTOS; DOS SANTOS, 2017) ou monitoramento de parâmetros da qualidade da água associados a usos agrícolas (HINATA; BASSO, 2017).

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos (BHS) tem como principal curso fluvial o rio de mesmo nome, considerado um dos principais do Rio Grande do Sul. Os diversos compartimentos da BHS retratam as várias categorias de uso e cobertura do solo, provenientes de distintas atividades antrópicas desenvolvidas na região. Ao longo de sua extensão, o rio dos Sinos e seus afluentes sofrem os impactos da intensa atividade urbana, industrial e agropecuária praticada na bacia.

Importante frisar que o rio dos Sinos é um dos mais poluídos do Brasil (MORAES; CABONGO; POLETO, 2018), conseqüentemente, um dos mais poluídos da Região Metropolitana de Porto Alegre, caracterizada pela presença de grande parque industrial (IBGE, 2015). Em outubro de 2006, ele foi palco de um dos desastres ambientais mais graves do estado, quando ocorreu a morte de quase 100 toneladas de peixes (SCHULZ, 2010). A poluição do rio é um problema crônico resultante de um conjunto de fatores: intensa atividade industrial (a região é um polo de atividade coureiro-calçadista); deficiência de tratamento adequado de esgoto doméstico; e captação da água do rio para irrigação de lavouras de arroz.

Blume *et al.* (2010) afirmam que a redução da qualidade da água no rio dos Sinos está associada principalmente aos despejos de esgoto doméstico não tratado, especialmente nos trechos médio e inferior, sendo forte indicativo das atividades antrópicas na bacia. Este cenário é preocupante devido ao uso das águas do rio para abastecimento público em vários municípios da região.

Alguns trabalhos apresentam resultados de monitoramentos da qualidade da água do rio dos Sinos (BLUME *et al.*, 2010) ou referem-se à avaliação da rede de monitoramento hidrológico da BHS (MORAES *et al.*, 2018), porém não foram identificados estudos que relacionem os parâmetros da qualidade da água com o uso e cobertura do solo na bacia. O desenvolvimento deste tipo de abordagem é de fundamental interesse para o planejamento e a tomada de decisão à melhoria da situação ambiental dessa relevante bacia hidrográfica gaúcha.

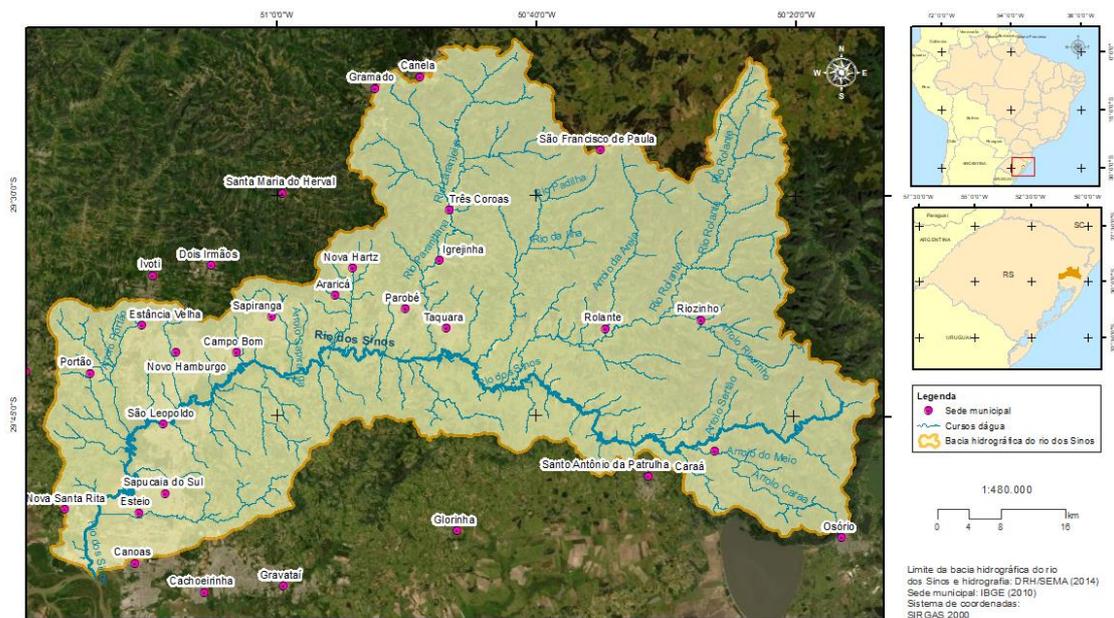
Em função dessa conjuntura nada promissora, o presente artigo tem como propósito avaliar os diferentes tipos de uso e cobertura do solo das várias sub-bacias que integram a bacia do Sinos e verificar a sua interferência sobre a qualidade da água da BHS. Neste sentido, pretende contribuir através de seus resultados à promoção de ações que visem a recuperação e proteção da bacia.

## Material e métodos

A área de estudo corresponde a BHS, localizada na porção leste do estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas 29° 20' a 30° 10' de latitude Sul e 50° 15' a 51° 20' de longitude Oeste (**Figura 1**). No contexto hidrográfico do estado, a BHS compõe 4,4% da área da Região Hidrográfica do Guaíba, e possui área total de 3.696 km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 1,3% da área do estado. O rio dos Sinos deságua no delta do rio Jacuí, onde também desembocam os rios

Caí e Gravataí (PRÓ-SINOS, 2014). Com cerca de 190 km de extensão, o rio dos Sinos tem suas nascentes no município de Caraá, a 600 m de altitude e sua foz a 5 m do nível do mar (COMITESINOS, 2017).

**Figura 1** - Mapa de situação e localização geográfica da bacia hidrográfica do rio dos Sinos



Fonte: Elaborado pelos autores.

A bacia abrange as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central. Segundo a caracterização climática proposta por Rossato (2020), possui a maior parte de sua área sob influência do tipo Subtropical III, úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, com média de chuva de 1700 a 1800 mm ao ano e temperatura média entre 17°C-20°C. A área das nascentes recebe influência da faixa de transição entre o Subtropical III e Subtropical IVb, muito úmido com inverno frio e verão fresco, média de chuvas entre 1700-2000 mm e temperatura média anual entre 14°C-17°C.

Ainda que algumas iniciativas tenham sido adotadas, o Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos evidencia a precariedade no atendimento do esgotamento sanitário. O sistema de disposição de efluentes domésticos predominante na bacia são as fossas sépticas, com 60% dos domicílios urbanos atendidos por este tipo de unidade de tratamento. Apenas 15% dos efluentes domésticos dos municípios que compõem a bacia são coletados, sendo que nem todo efluente é tratado e parte é despejada nos cursos d'água. Apenas 4,5% da população urbana da BHS é atendida por coleta e tratamento de esgoto, sendo que as

maiores alterações da qualidade da água são observadas a jusante das maiores áreas urbanas da bacia (PRÓ-SINOS, 2014).

A etapa inicial deste estudo partiu de consultas bibliográficas em artigos, teses e dissertações, e relatórios técnicos, disponibilizados por universidades, órgão de controle ambiental, secretarias de estado e municípios, além do Plano da Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos, a fim de contextualizar a situação ambiental da BHS.

O passo seguinte consistiu no processamento das informações referentes ao mapeamento do uso e cobertura do solo da BHS, que teve como base a classificação para o ano de 2009 apresentada no Plano da Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos (PRÓ-SINOS, 2014).

As sub-bacias foram delimitadas a partir do *software* ArcGis 10.3 e dos arquivos de curvas de nível e hidrografia disponibilizados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS (Fepam). Através das curvas de nível e da hidrografia realizou-se a interpretação e vetorização dos divisores de água entre as sub-bacias. Com base nesta delimitação, foi possível estabelecer os percentuais e a área em hectares de cada categoria de uso e cobertura do solo em relação à sub-bacia, através da ferramenta de geoprocessamento Calcular Geometria.

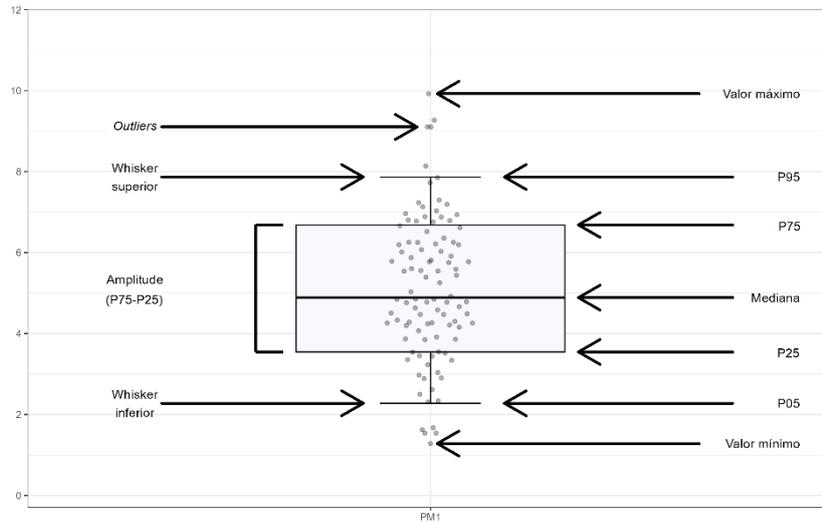
Cada sub-bacia compreendeu a área drenada até o respectivo ponto de monitoramento da qualidade de água que a identifica, consolidando a área situada a montante. As exceções foram as sub-bacias cujos pontos de monitoramento estavam localizados em algum afluente, como as do rio Rolante (P2), arroio Luiz Rau (P6) e arroio Portão (P9), que abarcaram apenas a área drenada para o afluente, até o ponto de monitoramento em sua foz.

A avaliação da qualidade da água foi realizada com base nos dados fornecidos pela Fepam, órgão responsável pelo controle de 11 pontos situados na BHS, integrantes da rede básica de monitoramento da qualidade da água superficial no Rio Grande do Sul. O período examinado foi de 2007 a 2013 com frequência bimestral, e as variáveis analisadas foram: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Temperatura, pH, Turbidez, *Escherichia coli* (*E. coli*), Nitrogênio amoniacal e Sólidos Totais, os quais foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e fornece diretrizes ambientais para o seu enquadramento no território brasileiro.

A análise individual em relação à qualidade da água contou com a elaboração de gráficos para facilitar a visualização de padrões de comportamento dos parâmetros. O *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020) foi utilizado para gerar gráficos do tipo *boxplot*, que permitem melhor análise da distribuição amostral. Para a leitura, análise exploratória e manipulação dos dados foram utilizados os pacotes {readr} e {skimr} e para confecção gráfica, os pacotes {tidyverse}, {scales} e {ggtext}.

Foram adicionados aos gráficos, linhas de regressão linear que indicam a tendência da qualidade da água no sentido montante-jusante e *jitter*, os pontos sobrepostos aos *boxplots*, que representam a dispersão dos valores medidos ao longo do período selecionado.

Após o ordenamento dos dados e identificação dos *outliers* (valores atípicos ou extremos num conjunto de dados), que podem contaminar a série, procedeu-se o cálculo da mediana para estabelecer a posição central dos valores. A mediana é retratada pela linha horizontal mais espessa no centro da caixa (*box*) e os limites da caixa representam os quartis superior (75%) e inferior (25%). As linhas verticais com extremidade horizontal, também chamadas de bigode, indicam os valores mínimos e máximos.

Figura 2 - Elementos do *boxplot*

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 indica que o parâmetro *E. coli* pode ser utilizado em substituição aos coliformes termotolerantes (CT), de acordo com os limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente, mas não estipula valor definitivo para o mesmo. Nesta análise foi aplicado o fator de correção estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo de 1,25 para *E. coli* (considerando-se que esta perfaz cerca de 80% dos CT, estabelece-se uma divisão entre 100/80) (CETESB, 2020a).

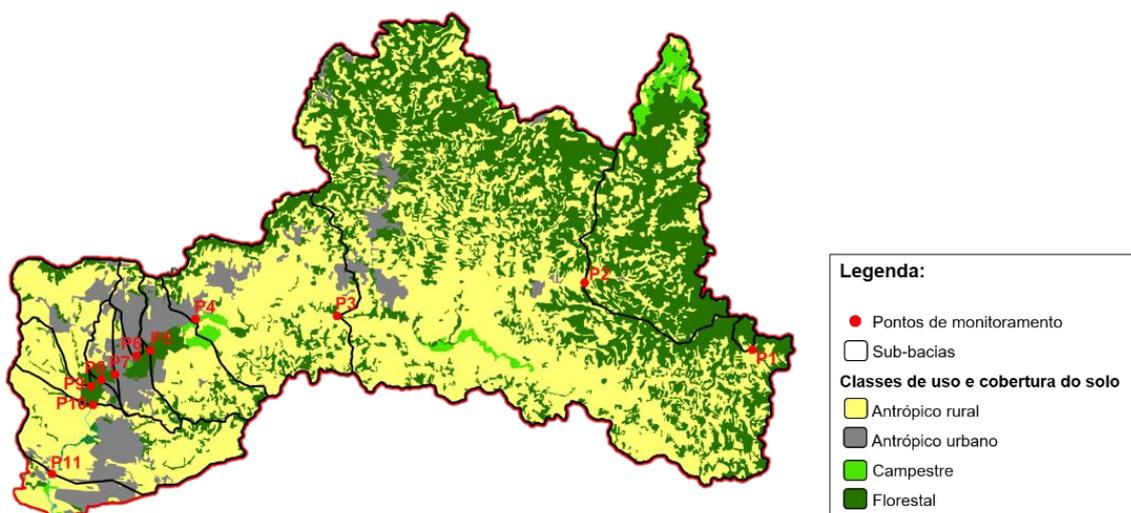
A sistematização do conjunto dessas informações foi suficiente para que os dados de uso e cobertura do solo possam ser relacionados com os resultados da qualidade da água, a fim de verificar a conexão entre essas variáveis.

## Resultados

Os resultados são apresentados em três partes, sendo a primeira referente ao uso e cobertura do solo por sub-bacia, a segunda demonstra as análises dos parâmetros qualitativos da água por ponto de monitoramento. A avaliação conjunta destas duas variáveis (uso e cobertura do solo e qualidade da água) está apresentada na terceira parte, e permite estabelecer relações entre a dinâmica de uso e cobertura do solo e a qualidade da água observada na BHS.

A [Figura 3](#) apresenta o uso e cobertura do solo, assim como a divisão em sub-bacias da BHS e seus pontos de monitoramento da qualidade da água, sob responsabilidade do órgão ambiental, a Fepam.

Figura 3 - Classes de uso e cobertura do solo, divisão por sub-bacias e pontos de monitoramento da bacia hidrográfica do rio dos Sinos



Fonte: Elaborado pelos autores.

### Uso e cobertura do solo

O **Quadro 1** apresenta as áreas em hectares das sub-bacias que integram a BHS, conforme os pontos de monitoramento que as identificam.

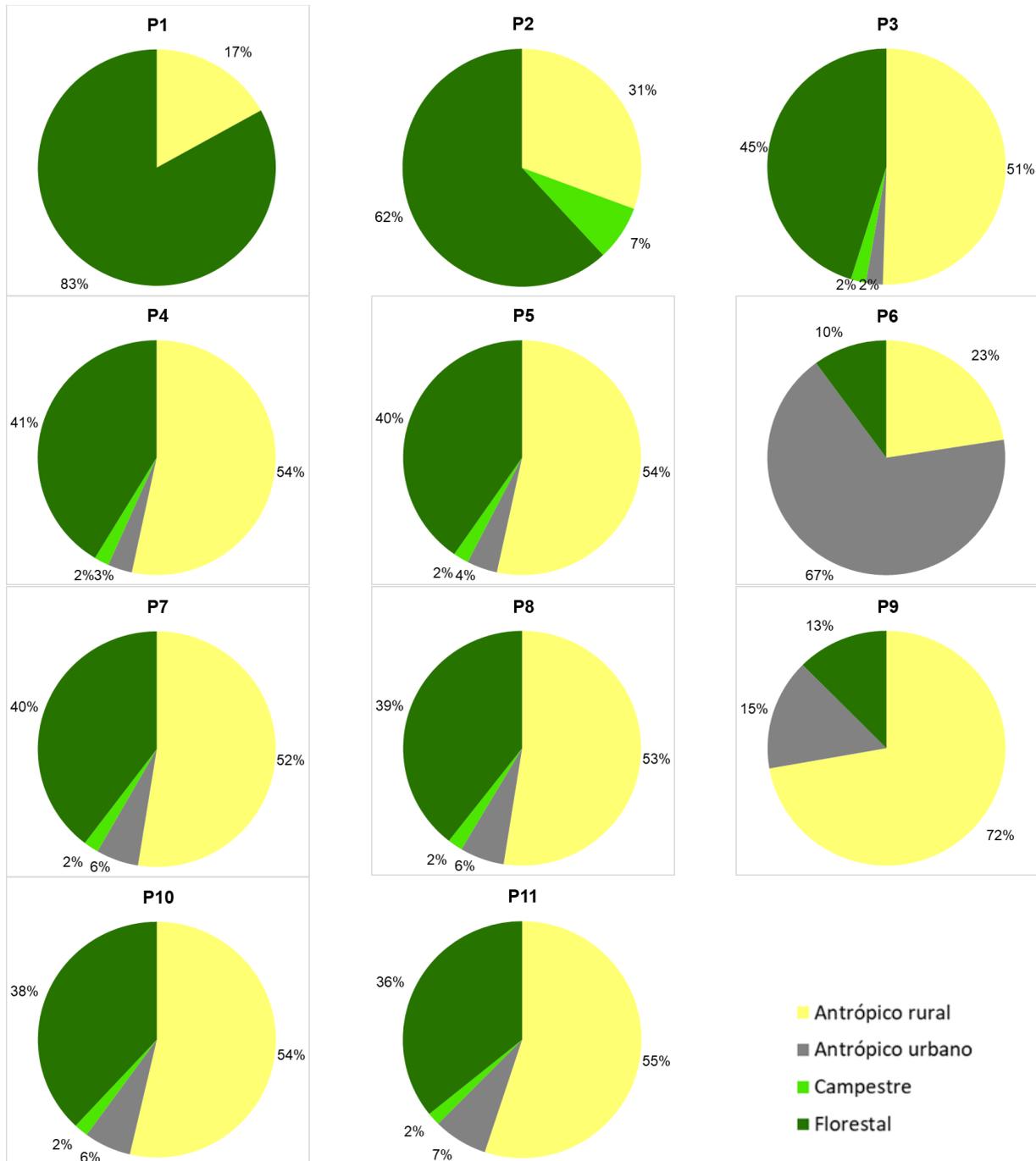
Quadro 1 - Pontos de monitoramento da qualidade da água e área da sub-bacia em relação à BHS

Pontos	Localização	Área (ha)
P1	Nascentes do rio dos Sinos, Caraá	1.071,87
P2	Nascente do rio Rolante, Rolante	45.741,16
P3	Santa Cristina, Parobé	244.433,33
P4	Arroio Schmidt	288.349,86
P5	Captação COMUSA, Novo Hamburgo	304.076,86
P6	Foz do arroio Luiz Rau, Novo Hamburgo	3.706,27
P7	Captação do SEMAE, São Leopoldo	313.690,31
P8	Foz do canal João Corrêa, São Leopoldo	316.894,25
P9	Foz do arroio Portão, Portão	13.146,64
P10	Balsa do Passo da Carioca, Sapucaia do Sul	336.186,18
P11	Ponte Tabaf-Canoas, Canoas	363.382,38

Fonte: Elaborado pelos autores.

A **Figura 4** apresenta os gráficos para cada sub-bacia, com o percentual das classes de uso e cobertura do solo que ocorrem na BHS: Antrópico rural, Antrópico urbano, Campestre e Florestal.

**Figura 4** - Classes de uso e cobertura do solo das sub-bacias da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

A sub-bacia do ponto P1 abrange uma das nascentes do rio dos Sinos, situada na área mais a montante e altitude mais elevada da BHS. Nela, nota-se que mais de 80% da área encontra-se ocupada pela classe Florestal, ou seja, um ambiente majoritariamente bem conservado.

A sub-bacia do ponto P2 corresponde à área drenada pelo rio Rolante, um dos principais afluentes do rio do Sinos. Também engloba áreas de altitude elevada, com características naturais conservadas e caráter rural. Há o predomínio das categorias que representam cobertura vegetal (Florestal e Campestre), e a presença da classe Antrópico rural apresenta considerável importância. A sub-bacia P3 tem as classes Antrópico rural e Florestal equivalentes.

Na sub-bacia P4 torna-se mais evidente a presença de núcleos urbanos como as sedes dos municípios de Araricá, Nova Hartz, Parobé e Sapiranga, que compõem 4% da classe Área antrópica de influência urbana. A sub-bacia do P5 apresenta o mesmo padrão observado em P4, com a presença das áreas urbanas dos municípios de Campo Bom e uma parte de Novo Hamburgo. Nessas duas sub-bacias a classe Antrópico rural ocupa um pouco mais da metade de cada área.

A área drenada pelo arroio Luiz Rau (afluente do rio do Sinos) corresponde à sub-bacia P6. Destaca-se pela presença da classe Antrópico urbano, com o maior percentual desta classe dentre as demais sub-bacias, abrangendo partes dos municípios de Estância Velha e Novo Hamburgo. Com a presença da classe Antrópico rural, observa-se menor presença de cobertura vegetal. As sub-bacias P7 e P8 apresentam um comportamento semelhante, ambas com mais da metade da área ocupada pela classe Antrópico rural.

A sub-bacia P9 corresponde à área drenada pelo arroio Portão (afluente do rio dos Sinos), basicamente compreendendo o município de Portão e com caráter predominantemente rural, observando-se predominância da classe Antrópico rural.

A sub-bacia P10 possui basicamente as mesmas características da P11, sendo que esta última abrange a área drenada até o ponto de monitoramento mais próximo da foz do rio dos Sinos, incluindo em sua área, todas as sub-bacias anteriores. Essa sub-bacia representa o panorama de uso e cobertura do solo da totalidade da BHS, prevalecendo a classe Antrópico rural.

### Qualidade da água

A qualidade da água foi avaliada a partir dos parâmetros Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Temperatura da água, Potencial hidrogeniônico (pH), Turbidez, *Escherichia coli* (*E. coli*), Nitrogênio amoniacal e Sólidos Totais, e retratada pelo gráfico com as informações de regressão linear (linha roxa) e *boxplot* de comportamento das variáveis, considerando os onze pontos monitorados. Os limites das classes da Resolução CONAMA N° 357/2005 são representados pelas cores azul (Classe 1), verde (Classe 2), amarelo (Classe 3) e vermelho (Classe 4).

### Oxigênio Dissolvido (OD)

A existência de níveis adequados de Oxigênio Dissolvido (OD) é fundamental para a manutenção da vida aquática, pois a maioria das espécies dependem desse elemento para sobreviver. Em águas limpas, a concentração de OD deve ser, geralmente, superior a 5 mg/L (TELLES; GÓIS, 2013). Reduções de OD podem ser causadas durante a estabilização da matéria orgânica, quando as bactérias fazem uso do oxigênio em seus processos respiratórios, o que pode ocasionar a morte de organismos aquáticos, inclusive peixes, dependendo da magnitude do evento (VON SPERLING, 2005). A baixa concentração desse elemento pode indicar contaminação por esgoto

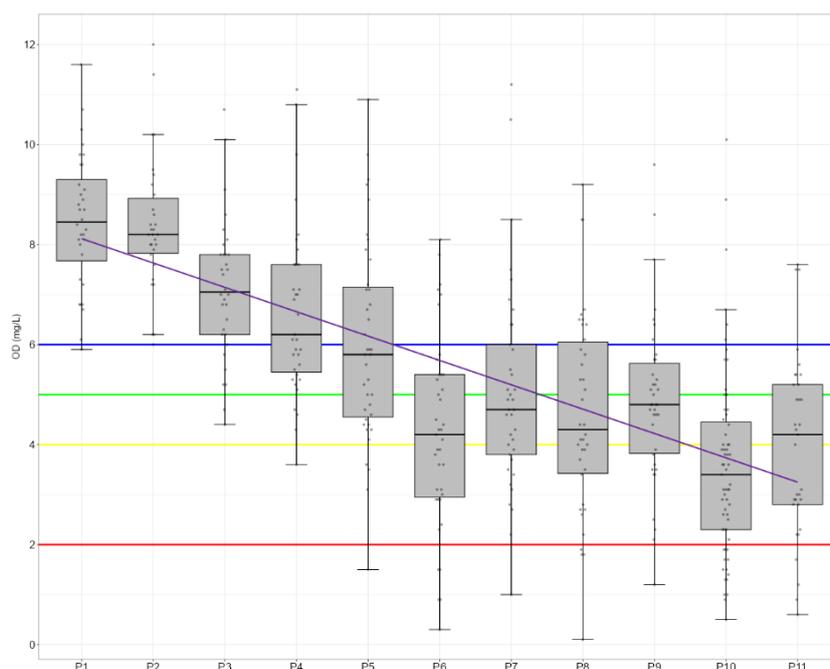
doméstico, já que ele é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. A média das concentrações de OD apresentou tendência de diminuição no sentido das nascentes para a foz do rio dos Sinos (**Figura 5**), observando-se que, quanto menor for o valor, pior a qualidade da água em relação a esse parâmetro.

A linha de regressão linear confirma a degradação do rio dos Sinos ao longo do seu percurso, pois das nascentes até a foz a concentração de OD diminui de 9 mg/L para 3,33 mg/L (abaixo do limite da classe 3).

A **Figura 5** mostra que o P2, localizado no rio Rolante, apresenta amplitude de OD menor do que a do P1, ainda que ambos estejam situados em áreas próximas das nascentes.

O P5 apresenta a maior oscilação de concentrações, variando da classe 1 até a classe 4. Mais de 50% dos dados observados para o período de 2007 a 2013 no P6 (foz do arroio Luiz Rau) estão abaixo de 5mg/L, caracterizando águas bastante degradadas em relação ao OD. Através do *boxplot* fica evidente como os *outliers* contribuem com o aumento e possível distorção dos resultados.

**Figura 5** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro OD (mg/L), por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

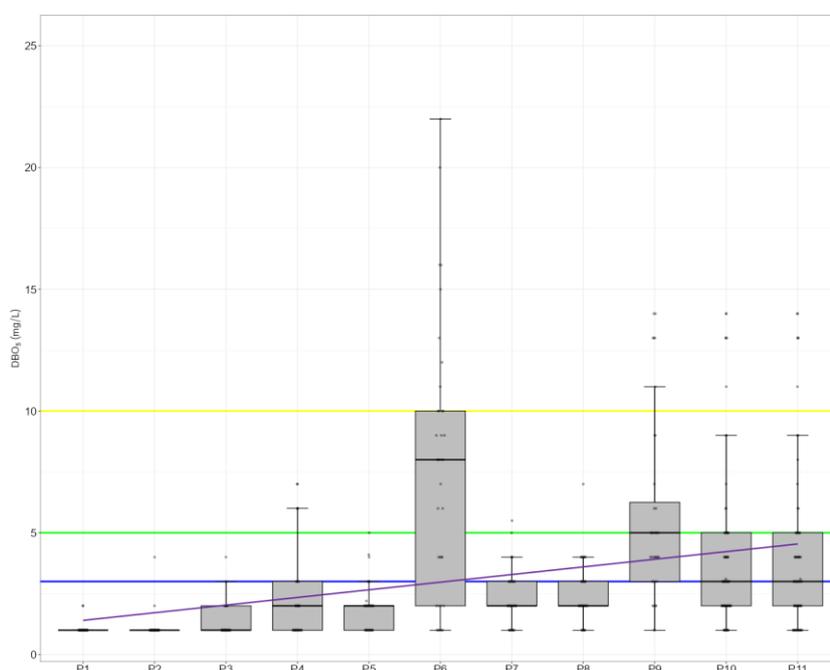
Para o OD, os valores máximos ficam cada vez menores conforme os pontos monitorados se aproximam da foz do rio dos Sinos, e os valores mínimos ficam ainda mais baixos. Do P1 até o P4, mais de 50% dos dados oscilam dentro do intervalo da classe 1. O P6 e P10 se destacam pela queda mais acentuada do que os pontos localizados imediatamente antes e depois.

## Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água. Valores elevados desse parâmetro em um corpo de água são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente de esgotos domésticos (TELLES; GÓIS, 2013). A presença de um alto teor de matéria orgânica pode provocar o completo esgotamento do oxigênio na água, levando ao desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2020b).

O P6 apresenta a maior mediana de DBO de toda a bacia (Figura 6), refletindo pior resultado entre os demais pontos monitorados, que pode ser indicativo de uma quantidade maior de matéria orgânica sendo despejada na foz do arroio Luiz Rau, corroborando as constatações de Heck *et al.* (2017) que revelaram forte contaminação de origem antrópica.

Figura 6 - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro DBO (mg/L), por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando-se a linha de regressão linear, fica evidente a tendência de aumento da concentração da DBO das nascentes em direção à foz. O P6 possui maior amplitude e distingue-se dos demais pontos analisados, afastando-se bastante dos valores médios das demais estações. Dos 11 pontos monitorados, sete têm mediana compreendida no intervalo da classe 1 da Resolução CONAMA N° 357/2005.

A Figura 6 também mostra que a mediana de 9 dos 11 pontos está entre 1mg/L e 2mg/L. Ademais, 50% da distribuição está abaixo de 8mg/L (mais próximo do final da classe 3 do que da classe 2), 25% entre 8mg/L e 10mg/L (limite da classe 3) e os 25% restantes possuem valores que extrapolam o limite proposto.

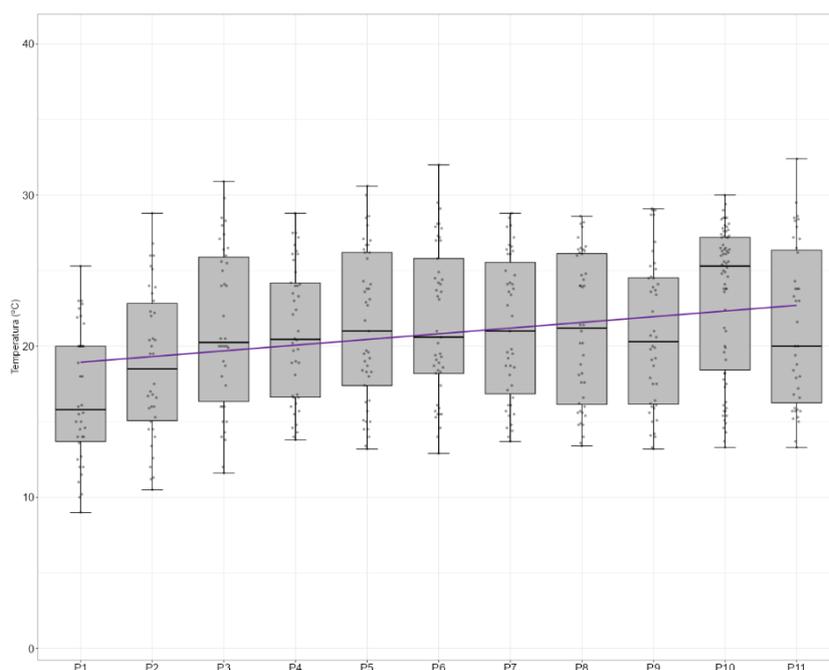
Através da análise estatística da DBO constatou-se que há um aumento na variância e no desvio padrão das nascentes em direção à foz, indicando o quanto os valores observados se afastam da média. Nos pontos situados nas cabeceiras da BHS (P1 e P2), os valores são baixos, com concentrações dentro dos limites estipulados para a classe 1, o que significa baixa concentração orgânica e condição mais favorável da DBO. No P6 são registrados os maiores valores da série, com 25% dos dados medidos acima do limite da classe 3, que corresponde a pior qualidade. Esse resultado é decorrente do aporte de carga orgânica do arroio Luiz Rau, no município de Novo Hamburgo. Com uma maior diluição, percebe-se melhora no P7 e P8. Entretanto, na área mais antropizada da bacia (P9, P10 e P11), a DBO volta a aumentar, oscilando entre os limites da classe 1 a 3, com eventuais medições (*outliers*) extrapolando o limite da pior classe.

### Temperatura da água

A temperatura da água influencia diversos parâmetros físico-químicos, sendo que organismos aquáticos têm seu crescimento e reprodução impactados quando os valores estão fora dos seus limites de tolerância térmica (TELLES; GÓIS, 2013). A temperatura superficial é influenciada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade, e sua elevação em um corpo de água geralmente é provocada por despejos industriais e usinas termoelétricas (CETESB, 2020b).

A linha de tendência (Figura 7) mostra elevação da média dos pontos localizados no setor superior da bacia em direção a jusante. As nascentes apresentaram temperaturas médias mais baixas em função da maior cobertura vegetal, além das altitudes mais elevadas. Na foz, situada em menores altitudes, as áreas mais urbanizadas no município de Canoas apresentaram menor cobertura vegetal, fatores que condicionam médias mais altas.

**Figura 7** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro Temperatura da água (°C), por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

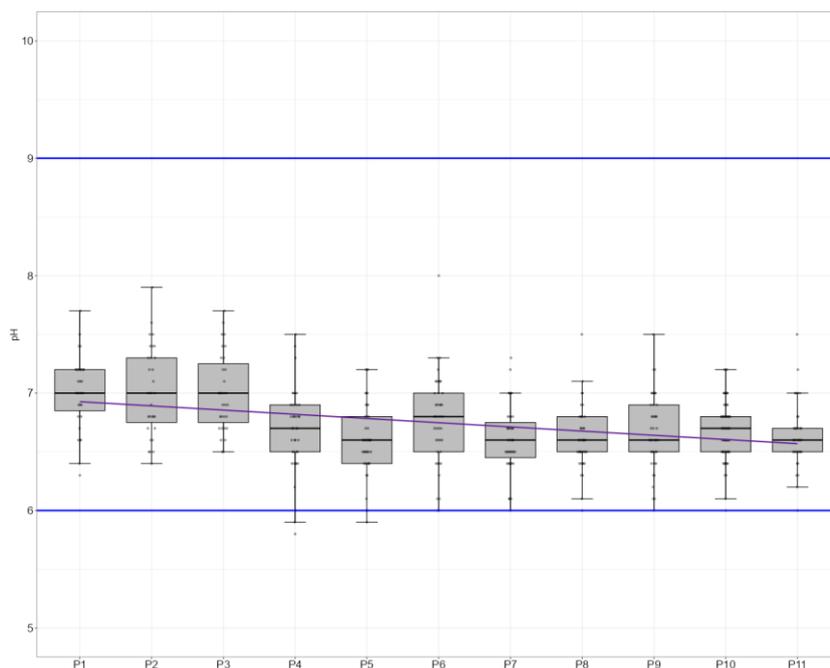
A distribuição dos dados no P1 resultou em temperaturas mais baixas do que as registradas no P10. As temperaturas medidas nos pontos de monitoramento tiveram um aumento nas medianas e nos valores mínimos devido à proximidade da foz. Com exceção do P1, P2 e P10, todos os pontos possuem mediana próxima aos 20°C, com valores que oscilaram entre 20°C e 21,20°C. Os valores mínimos tiveram uma ascensão nos três pontos iniciais (9°C, 10,5°C e 11,6°C, respectivamente) e posterior estabilização no restante da BHS, com dados variando entre 12,9°C no P6 e 13,8°C no P4. O P10 apresentou a mediana mais elevada (25,3°C).

### Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH representa a condição de acidez, alcalinidade ou neutralidade das águas, podendo ser o resultado de fatores naturais como: fotossíntese, dissolução de rochas, oxidação da matéria orgânica, absorção de gases da atmosfera; ou antrópicos, provenientes de despejos industriais ou domésticos. Valores elevados de pH podem estar associados à proliferação de algas, e valores altos ou baixos podem ser indicativos da presença de efluentes industriais (VON SPERLING, 2005).

Com base na **Figura 8** observa-se uma baixa variação do pH, com valores da mediana muito próximos da neutralidade (pH 7).

**Figura 8** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro pH, por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que a mediana para os pontos P1, P2 e P3 corresponde a 7. A distribuição dos dados é praticamente simétrica. Os pontos P5, P7, P8, P9 e P11 possuem o mesmo valor da mediana, correspondente a 6,6, indicando uma condição mais ácida, que pode ser influência das áreas urbanas e com maior atividade industrial. O pH apresentou leve tendência à acidificação das nascentes em direção à foz, mas ainda dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, que são os mesmos para todas as classes.

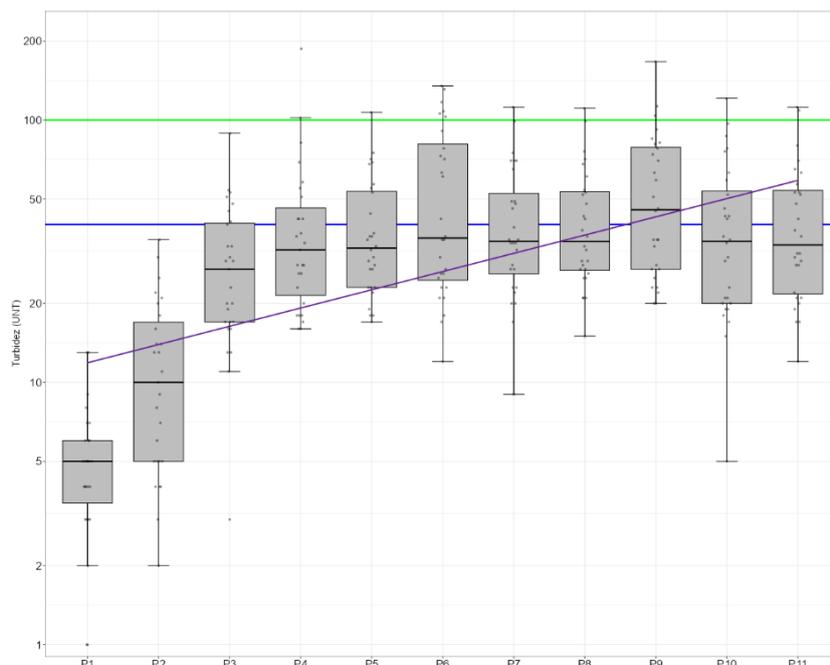
## Turbidez

É a medida que indica o grau de decréscimo da luz ao atravessar a água, estando associada à presença de material em suspensão, que pode ter origem natural, mostrando-se sob a forma de partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos (algas, bactérias e plânctons) (CETESB, 2020b).

A erosão nas margens dos rios pode ser intensificada pelo mau uso do solo e falta de vegetação ciliar, estradas vicinais e atividades agropecuárias, por exemplo. Esgotos domésticos e diversos efluentes industriais elevam a turbidez nas águas, levando à redução da fotossíntese de plantas submersas e algas que, por sua vez, podem suprimir a produtividade de peixes. Esse processo pode desencadear desequilíbrios para as comunidades aquáticas, gerando outros prejuízos para o uso doméstico, industrial e recreacional da água (CETESB, 2020b). Além disso, produtos químicos tóxicos podem estar associados às partículas em suspensão, trazendo mais problemas à qualidade da água, sendo que o tratamento para reduzir a turbidez pode remover alguns produtos químicos (CECH, 2013).

A **Figura 9** mostra uma linha de tendência ascendente das nascentes em direção à foz, comprovando a deterioração do rio dos Sinos em direção à sua desembocadura no lago Guaíba. Os maiores valores máximos ocorreram no P6 e P9, pontos referentes à foz dos arroios Luiz Rau e Portão, respectivamente.

**Figura 9** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro Turbidez (UNT), por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

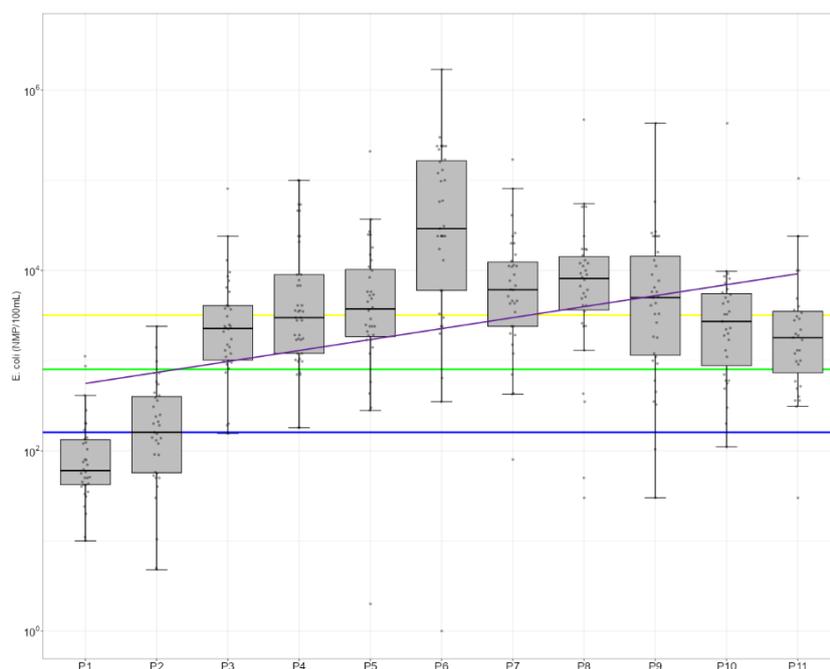
Observa-se o padrão do aumento da turbidez em direção à foz, com elevação nos valores mínimos, medianas e máximos do P1 até o P3. A partir do P3 há estabilização, oscilando entre 32 UNT e 35,5 UNT, com exceção ao P9, cujo valor é de 45,5 UNT. A maior porção dos dados está dentro do intervalo da classe 1, exceto o P9 que apresenta valores oscilando entre classe 2 ou pior. Para as demais estações (P3, P4, P5, P7, P8, P10 e P11) esse número é de aproximadamente 25% (representado pelo 4º quartil).

### *Escherichia coli (E. coli)*

Corresponde à principal bactéria do subgrupo dos coliformes termotolerantes, sendo sua origem unicamente fecal. É considerada como o parâmetro mais apropriado para análise de contaminação em águas doces. Por estar presente nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, dificilmente é observada quando não há este tipo de poluição. Pode indicar áreas em que o esgoto não é tratado ou que há grande aporte de dejetos oriundos da pecuária (CETESB, 2020b).

A **Figura 10** indica que, para o parâmetro *E. coli*, com exceção ao P1, todos os demais pontos de monitoramento tiveram mais de 50% dos dados oscilando entre classe 2 ou pior estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/2005<sup>5</sup>.

**Figura 10** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro *E. coli* (NMP<sup>6</sup>/100mL), por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

<sup>5</sup> A Resolução não estipula valor definitivo para *E. coli*, apenas esclarece que “a *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.”

<sup>6</sup> Número Mais Provável (NMP) de coliformes representa a densidade média de bactérias presentes em 100 mililitros de amostra.

O P1 manteve-se na classe 1 (160 NMP/100mL). O P6 apresentou o maior valor da mediana da BHS, indicando a presença de matéria orgânica derivada dos efluentes domésticos sem tratamento na foz do arroio Luiz Rau. Destaca-se também os altos valores em P8, P9 e P10, situados em cursos fluviais que drenam extensa área urbana dos municípios de São Leopoldo e Sapucaia do Sul. Apenas o P1 e P2 apresentam metade dos dados dentro do limite da classe 1 para o período analisado. O ponto mais preocupante para o parâmetro *E. coli* é o P6, com mais de 75% dos dados acima do limite da pior classe. Do P3 ao P10 todos os valores do 1º quartil (porção inferior da caixa) estão acima do limite da classe 2.

### Nitrogênio

A forma predominante de nitrogênio (N) em um corpo de água pode fornecer informações sobre o estágio da poluição, sendo que um evento mais recente está associado ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto que uma poluição mais antiga caracteriza-se pelo nitrogênio na forma de nitrito. Esses processos bioquímicos de conversão demandam consumo de OD, fato que também afeta a vida aquática (VON SPERLING, 2005).

Historicamente, o nitrato e o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) foram amplamente reconhecidos como substâncias de extrema importância nos ecossistemas aquáticos continentais, uma vez que são as principais fontes de nitrogênio assimiláveis pelos produtores primários. No entanto, agora é sabido que o principal composto inorgânico de nitrogênio prontamente utilizado metabolicamente (com menor custo energético) pelos produtores primários é o íon amônio (ESTEVEES, 2011).

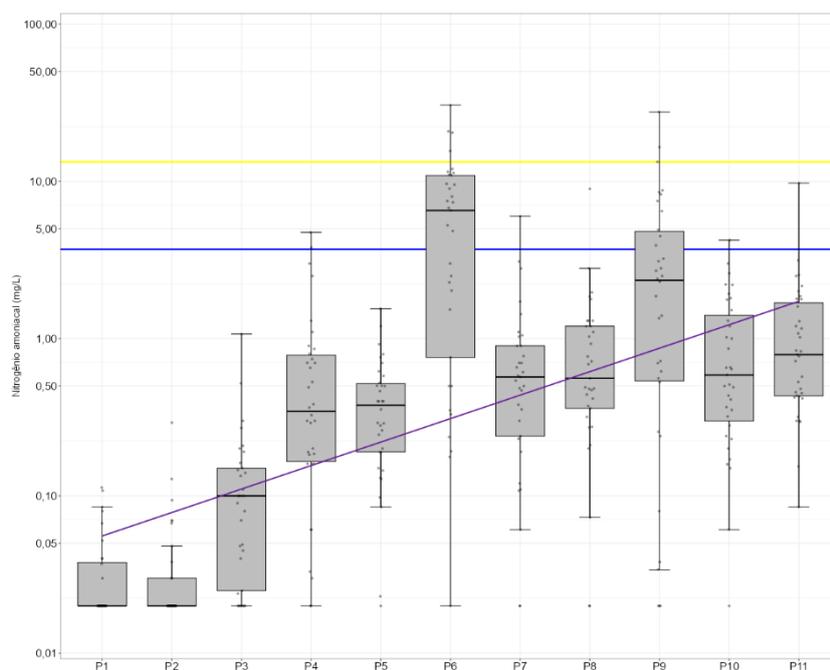
A forma predominante de nitrogênio em um corpo d'água pode fornecer informações sobre o estágio da poluição que possa ter como origem algum lançamento de esgotos a montante. Se o evento for mais recente o nitrogênio estará em forma de nitrogênio orgânico ou amônia, e se mais antiga, será na forma de nitrato, com concentrações de nitrito mais reduzidas. Esses processos bioquímicos de conversão demandam consumo de OD, fato que também afeta a vida aquática (VON SPERLING, 2005).

O nitrogênio possui variadas origens, sendo a principal delas o esgoto sanitário, o qual lança na água nitrogênio orgânico (tendo em vista a presença de proteínas) e nitrogênio amoniacal (por meio da hidrólise da ureia na água). Esses compostos de nitrogênio podem ser provenientes de indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes (CETESB, 2020b).

Segundo a classificação estabelecida na Resolução CONAMA Nº 357/2005, o valor de nitrogênio amoniacal está associado ao pH. Assim sendo, como todos os pontos apresentaram pH com média inferior a 7,5, utilizou-se o limite de 3,7 mg/L N (classes 1 e 2) e 13,3 mg/L N (classe 3) como referência para concentração de nitrogênio amoniacal.

Analisando-se a linha de regressão linear ([Figura 11](#)), nota-se a piora desse parâmetro de montante para jusante dos pontos monitorados. Também é possível observar discrepâncias no P6 (foz do arroio Luiz Rau) e P9 (foz do arroio Portão) onde os valores máximos atingiram 30,5 mg/L N e 27,6 mg/L N, respectivamente, ultrapassando os limites da classe 3. A amplitude interquartílica teve aumentos sucessivos em função da proximidade da foz. No P6 a mediana atingiu 6,53 mg/L N e o P9 alcançou 2,35 mg/L N.

**Figura 11** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro Nitrogênio amoniacal (mg/L N), por pontos de monitoramento da BHS



Fonte: Elaborado pelos autores.

## Sólidos Totais

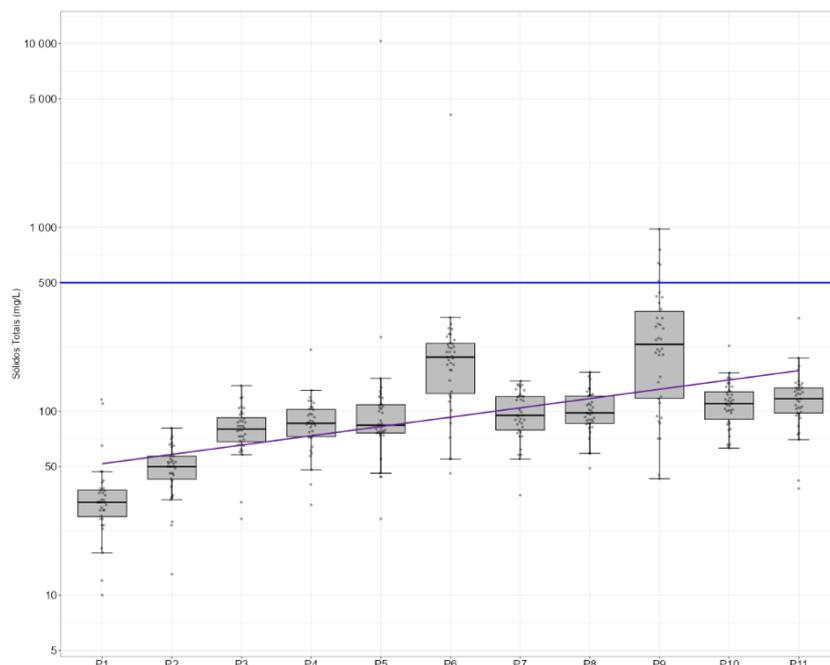
Os sólidos correspondem a toda matéria que permanece como resíduo na água, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado, resultando em frações de sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis, presentes na água (CETESB, 2020b).

Os sólidos podem causar prejuízo aos peixes e à vida aquática, através da sedimentação do leito do rio e consequente destruição de organismos que fornecem alimentos ou dano do leito para desova de peixes (CETESB, 2020b).

Considerando-se que a Resolução CONAMA Nº 357/2005, não tem limites estabelecidos para os sólidos totais, utilizou-se como referência o limite para Sólidos Dissolvidos Totais. Desta maneira, observou-se que os teores médios de sólidos totais foram menores do que 500 mg/L, que é o limite para os sólidos dissolvidos totais até a classe 3 (Figura 12). O parâmetro apresentou linha de tendência em alta, com valores maiores em direção à foz.

O *outlier* no P5 pode ser indicativo de um erro de amostragem ou algum evento anômalo. Todos os pontos tiveram os quatro quartis dentro do intervalo estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, com exceção do P9 com apenas três. No P6 e P9 a amplitude interquartil teve maior elevação em relação aos seus pontos adjacentes.

**Figura 12** - Distribuição dos dados medidos e linha de regressão linear do parâmetro Sólidos Totais (mg/L), por pontos de monitoramento da BHS



\* Limites estabelecidos para o parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

A linha de regressão linear também confirma a degradação do rio dos Sinos de montante para jusante em relação à presença dos Sólidos Totais. A mediana no P6 alcançou 197 mg/L e no P9 231,5 mg/L, os maiores valores observados.

### *Relação entre uso e cobertura do solo e qualidade da água*

A classe Antrópico rural predominou quando observada integralmente a BHS, e quando somada à classe Antrópico urbano, totalizaram mais de 62% do total da área, evidenciando as transformações significativas das condições originais da bacia, ou seja, relevante grau de alterações antrópicas.

Através da análise da [Figura 3](#) foi possível identificar o padrão espacial do uso e cobertura do solo na BHS: as sub-bacias situadas mais próximas da foz do rio dos Sinos (Baixo Sinos) apresentam maior percentual de área urbanizada e menor área de cobertura vegetal natural, em oposição às sub-bacias localizadas a montante, que possuem menor área urbanizada e maior área de cobertura vegetal natural.

As exceções ocorreram nas sub-bacias de P6 e P9, drenada pelo arroio Luiz Rau e Portão, respectivamente, na qual a primeira apresentou elevado grau de urbanização e, também, baixa proporção de cobertura vegetal, enquanto a segunda, apresentou predominância da categoria Antrópico rural e baixa proporção de cobertura vegetal. Através do padrão espacial do uso e cobertura

do solo por sub-bacia foi possível estabelecer a relação com as análises de qualidade da água de cada ponto de monitoramento

Os pontos de monitoramento da qualidade da água P1 e P2, situados na área das nascentes do rio dos Sinos, tiveram os melhores valores das medianas para todos os parâmetros, destacando-se: OD (8,45 mg/L e 8,20 mg/L, respectivamente), DBO (1,00 mg/L e 1,00 mg/L, respectivamente) e Turbidez (5,0 UNT e 10,0 UNT, respectivamente), todos correspondentes à classe 1 da Resolução CONAMA N° 357/2005. Ressalta-se, igualmente, os baixos valores de *E.coli* (60,20 NMP/100mL e 160 NMP/100mL, respectivamente) e Sólidos totais (32,0 mg/L e 50,0 mg/L, respectivamente). Segundo a classificação de uso e cobertura do solo, as sub-bacias correspondentes a esses pontos apresentaram a maior parte de suas áreas cobertas por vegetação conservada (classe Florestal), sendo 67% no P1 e 58% no P2.

Ainda que neste estudo os locais monitorados junto às nascentes tenham apresentado condições mais favoráveis em relação à qualidade da água dos demais pontos de controle, Benvenuti *et al.* (2015) avaliaram três locais junto às nascentes da BHS nos arroios Pampa, Estância Velha/Portão e Schmidt, cujas águas foram classificadas como de qualidade média, com maior grau de deterioração principalmente devido à poluição por esgoto doméstico não tratado, consequência de ação antrópica na área.

A análise dos dados estatísticos dos parâmetros de qualidade da água permitiu concluir que há variações espaciais na qualidade da água da BHS, que sofre degradação de montante para a jusante. Dois pontos destacam-se do conjunto de estações monitoradas, ambos situados no Baixo Sinos: o P6 (foz do arroio Luiz Rau) e o P9 (foz do arroio Portão), onde praticamente todos os parâmetros tiveram concentrações acima dos limites estabelecidos para a classe 2 da Resolução CONAMA N° 357/2005.

Esses resultados corroboram os observados pela Fepam (2011), que indicam que o arroio Luiz Rau (P6) e o arroio Portão (P9) e o apresentam a pior situação na BHS, sendo que o primeiro drena área com cerca de 40 curtumes localizados nos municípios de Estância Velha e Portão. O arroio Luiz Rau percorre a área central da cidade de Novo Hamburgo, conduzindo esgotos cloacais e efluentes industriais de curtumes e metalúrgicas.

O arroio Luiz Rau é o principal conduto carreador de despejos domésticos e resíduos, tornando-se de grande importância na disseminação de poluentes até o rio dos Sinos (FIGUEIREDO; RODRIGUES; SPILKI, 2010; STRIEDER *et al.* 2006). Esse arroio também apresenta parâmetros microbiológicos e físico-químicos alterados, bem como genomas do adenovírus humano e canino, que comprovam o impacto antrópico sobre o corpo de água e agravam as condições do ambiente (HECK *et al.*, 2017).

O arroio Portão tem apresentado ao longo dos anos indícios de poluição decorrente de concentrações elevadas de despejos industriais do município de Estância Velha, além do recebimento de efluentes líquidos tratados do município de Portão, e altos índices de DBO em resposta ao despejo de esgoto domiciliar não tratado no curso d'água (NAIME; FAGUNDES, 2005).

Os valores mais significativos de *E.coli* e DBO nos pontos P6 e P9 revelam maior consumo de oxigênio na água resultante do despejo de esgoto não tratado proveniente das áreas urbanizadas. Petry *et al.* (2016) também detectaram altos valores de DBO e fósforo total na foz do arroio Luiz Rau, confirmando a baixa qualidade da água, que contribui para aumento da poluição e genotoxicidade no rio dos Sinos.

A sub-bacia P6 tem o maior percentual da classe Antrópico urbano (67%), com presença acentuada da classe Antrópico rural (22%) e cobertura vegetal natural de menor expressão (10%). A sub-bacia P9 apresenta predomínio da classe Antrópico rural (72%) e reduzida área de cobertura

vegetal natural, sendo a sub-bacia com maior percentual da classe Florestal (12%). Esses dois pontos correspondem a cursos fluviais bem menos caudalosos do que o rio dos Sinos, o que permite inferir a importância da vazão na diluição dos poluentes.

Nos pontos mais próximos da foz, P10 e P11, ambos no município de Canoas e localizados junto ao rio dos Sinos, destacam-se os baixos valores para OD, que correspondem à classe 3 da Resolução CONAMA Nº 357/2005. As sub-bacias vinculadas a esses pontos tem mais da metade de sua área ocupada pela classe Agricultura e agropecuária, sendo que a classe Área antrópica de influência urbana tem 7%.

Todos os locais avaliados pela Fepam ao longo do rio dos Sinos apresentam tendência de queda nas concentrações médias de OD especialmente nos períodos mais secos (novembro a maio), quando pode ocorrer mortandade de peixes por asfixia. Uma série de eventos conjuntos causou a queda do nível de OD e a condição insustentável para a vida aquática no acidente ambiental de 2006: a elevada carga orgânica de origem industrial e cloacal, a estiagem ocorrida na região nos anos anteriores, a temperatura elevada da água, a retirada excessiva de água do rio para fins agrícolas e a falta de mata ciliar e a baixa vazão do rio. De acordo com o monitoramento realizado, a qualidade da água dos arroios Luiz Rau e Portão vem decaindo no decorrer dos últimos anos, e foi classificada como muito ruim na região da foz do arroio Portão (RODRIGUES *et al.*, 2010).

## Considerações finais

Este estudo consistiu na delimitação das sub-bacias da BHS e identificação do percentual das classes de uso e cobertura do solo, relacionando-os à qualidade da água, conforme os dados de onze pontos de monitoramento sob responsabilidade da Fepam.

Os resultados evidenciaram que a qualidade da água depende ou é influenciada pelo grau de preservação das sub-bacias hidrográficas. No percurso em direção à foz, as águas do rio dos Sinos e afluentes apresentaram piora na qualidade, tendo em vista a maior presença das classes Área antrópica de influência urbana e Agricultura e agropecuária, em detrimento das classes associadas à cobertura vegetal natural, que oferecem melhores condições para a manutenção de resultados compatíveis com as classes de melhor enquadramento da Resolução CONAMA Nº 357/2005. Essas diferenças tornam-se mais evidentes quando comparados os compartimentos a montante da bacia, que abriga as nascentes, e a jusante, densamente urbanizado e industrializado.

A precariedade da rede de saneamento básico dos municípios pertencentes à BHS e a falta de investimentos neste setor são agravantes para a qualidade da água na bacia, que já está comprometida.

O monitoramento contínuo dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da qualidade da água associado ao mapeamento de uso e cobertura do solo são ferramentas essenciais e estratégicas de avaliação ambiental, pois permitem que órgãos ambientais e o comitê da bacia possam aprimorar estratégias de controle à poluição hídrica. Para que haja efetiva melhora na qualidade dos cursos d'água mais críticos, como os arroios Luiz Rau e Portão, é imprescindível que haja investimento em melhorias na rede de tratamento de esgoto e programas que incentivem a preservação de áreas de cobertura vegetal natural. Além da recuperação de cursos d'água com qualidade degradada, ações de preservação e manutenção da cobertura vegetal natural devem ser aplicadas junto às nascentes, visto que os impactos da ação antrópica já são percebidos também nessas áreas.

Outra consideração pertinente quando se avalia a qualidade da água superficial são os dados de vazão, geralmente escassos, porém de suma importância para se avaliar a carga dos poluentes,

bem como o monitoramento contínuo de mais parâmetros e maior amplitude espacial. Os dados deste estudo provêm de quatro coletas anuais, sendo que seria necessário amostragens mais frequentes para se identificar possíveis efeitos de sazonalidade, alterações causadas por efluentes industriais ou decorrentes de práticas agrícolas adotadas na bacia. O caso do *outlier* de 10.000 mg/L de sólidos totais é um bom exemplo, pois não é possível concluir se foi realmente um evento isolado que ocasionou esse valor muito além do comportamento normal ou se foi um simples erro de digitação. Ou seja, a decisão de considerar *outliers* pode tanto ser benéfica (identificando pontos suscetíveis a desastres) quanto prejudicial (pela falta de mais informações para explicar a razão daquele valor anômalo).

Algumas iniciativas vêm sendo implementadas na bacia, como ações de educação ambiental, capacitações para atores estratégicos, manejo de resíduos, monitoramento mais efetivo da qualidade da água em 24 pontos, incluindo o balneário Tito Martins próximo à foz do rio Paranhana (PRÓ-SINOS, 2020) e investimento em obras de saneamento para abatimento de carga proveniente do esgoto doméstico (COMITESINOS, 2019). Entretanto, muito deve ser feito para que os resultados de melhoria na qualidade da água sejam efetivamente percebidos. Este estudo contribuiu para diagnosticar a situação da qualidade da água na bacia em período posterior ao desastre ambiental, mas a realização de novas pesquisas com pontos de monitoramento e base de dados de uso do solo mais recentes são indispensáveis para manutenção de condições de vida sustentável na BHS.

## Agradecimentos

Os autores agradecem pela concessão de bolsas da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001, e Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências

- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. (1999). Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 5(6), 125-34. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap09.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- BASSO, L. A., RIGHI, E., ROCHA, D. S. (2017). A qualidade da água e suas relações com o uso e a ocupação do solo na bacia hidrográfica do Arroio Cavalhada, Porto Alegre - RS. In: BASSO, L. A.; MOURA, N. S. V.; STROHAECKER, T. M. (org.) *Geografia: dinâmica, conflitos e proposições*. Porto Alegre: wwwlivros. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/170783>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- BENVENUTI, T., KIELING-RUBIO, M. A., KLAUCK, C. R., RODRIGUES, M. A. S. (2015). Evaluation of water quality at the source of streams of the Sinos River Basin, southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 15 (2), 98-104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.1513> Acesso em: 14 mai. 2021.
- BLUME, K.K., MACEDO, J. C., MENEGUZZI, A., SILVA, L. B., QUEVEDO, D. M. (2010). Water quality assessment of the Sinos river, southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4), 1185-1193. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000600008>. Acesso em: 14 mai. 2021.
- CECH, T. V. (2013) *Recursos Hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão*. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2020a). *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019*. Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf> Acesso em 18 de junho de 2020.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2020b). *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019*. Apêndice E - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-variaveis.pdf> Acesso em 19 de junho de 2020.
- COMITESINOS. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. (2017). *Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos*. Disponível em: <http://www.comitesinos.com.br/bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>. Acesso em 15 de junho de 2020.
- COMITESINOS. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. (2019). Programa que trata abatimento de esgoto doméstico em São Leopoldo atende prioridade do Plano de Bacia. Disponível em: <http://www.comitesinos.com.br/noticia/programa-que-trata-abatimento-de-esgoto-domestico-em-sl-atende-prioridade-do-plano-de-bacia/209> Acesso em 13 de junho de 2020.
- DECHEN, S. C. F., TELLES, T. S., GUIMARÃES, M. F., DE MARIA, I. C. (2015). Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, 74(2), 224-233. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0363> Acesso em: 14 mai. 2021.
- ESTEVEES, F. A. Fundamentos de limnologia/ Francisco de Assis Esteves (coordenador). - 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.
- FIGUEIREDO, J.A.S., DRUMM, E., RODRIGUES, M. A. S., SPILKI, F. R. (2010). The Rio dos Sinos watershed: an economic and social space and its interface with environmental status. *Brazilian Journal of Biology*. 70(4) 1131-1136. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000600001> Acesso em: 19 mai. 2021.
- FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. (2014). Análise da correlação do uso e ocupação do solo e da qualidade da Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19, 41-49. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p41-49> Acesso em: 13 mai. 2021.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS. (2011). Qualidade ambiental - Região Hidrográfica do Guaíba. *Qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos*.

- Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_sinos/sinos.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp) Acesso em: 25 mar 2021.
- HECK, T., JESUS, L. F., DEUS, N. T., LINDEN, R., OSÓRIO, D. M. M., STAGGEMEIER, R. (2017). Avaliação da água através de parâmetros microbiológicos e físico-químicos em áreas populacionais do arroio Luiz Rau, afluyente do rio dos Sinos, município de Novo Hamburgo, RS. *Revista Conhecimento Online*, 2(105) 2017. DOI: <https://doi.org/10.25112/rco.v2i0.1146> Acesso em: 25 jun 2021.
- HINATA, S. S., BASSO, L. A. (2017). Qualidade da água associada ao cultivo de banana na sub-bacia hidrográfica do rio das Pacas - RS. In: Basso, L. A.; Moura, N. S. V.; Strohaecker, T. M. (org.) *Geografia: dinâmica, conflitos e proposições*. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/170783> Acesso em: 20 mar 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015) *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015*. Rio de Janeiro: IBGE.
- MORAES, L.F., CABONGO, O. A. S., POLETO, C. (2018). Evaluation of the monitoring network of a river basin of Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Brasiliensis*, 2(2) 74-79. DOI: <https://doi.org/10.22571/2526-433893> Acesso em: 13 abr 2021.
- NAIME, R.; FAGUNDES, R.S. (2005). Controle da Qualidade da Água do Arroio Portão, RS. *Revista Pesquisas em Geociências*, 32(1), 27-35. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19535/pdf> Acesso em: 10 mar 2021.
- OKUMURA, A. T. R., SILVA, A. G., SILVA, N. R. S., LOPES, E. R. N., BIFANO, R. B. A., QUILENATO, R. V. (2020). Determinação da Qualidade da Água de um Rio Tropical sob a perspectiva do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 1835-1850. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850>. Acesso em: 13 abr 2021.
- PARREIRA, T. P., SANTOS, G. O., DOS SANTOS, A. R. F. (2017). Qualidade e disponibilidade da água para irrigação no córrego do Sapó, Rio Verde, Goiás. *Caminhos de Geografia*. Uberlândia. 18(64) 34-46. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40907> Acesso em: 20 abr 2021.
- PEREIRA, B. W. F., MACIEL, M. N. M., OLIVEIRA, F. A., ALVES, M. A. M. S., RIBEIRO, A. M., FERREIRA, B. M., RIBEIRO, E. G. P. (2016). Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, 11(2), 472-485. DOI: <http://10.4136/ambi-agua.1802> Acesso em: 03 jun 2021.
- PETRY, C. T., COSTA, G. M., BENVENUTI, T., RODRIGUES, M. A. S., DROSTE, A. (2016). Avaliação integrada da qualidade química e da genotoxicidade da água do arroio Luiz Rau, no trecho inferior da bacia do Rio dos Sinos, no Sul do Brasil. *Ambiente & Água*, 11(4), p 867-877. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1779> Acesso em: 20 jun 2021.
- PRÓ-SINOS (2020). Pró-Sinos lança programa de monitoramento das águas do Rio dos Sinos. Disponível em: <http://www.prosinos.rs.gov.br/noticias/3769-pro-sinos-lanca-programa-de-monitoramento-das-aguas-do-rio-dos-sinos> Acesso em: 16 de abril de 2021.
- R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.
- BRASIL (2005). Resolução CONAMA 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 Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em: 16 de abril de 2021.
- RODRIGUES, B. M., OSCO, L. P., ANTUNES, P. A., RAMOS, A. P. M. (2019). Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(3) 738-753. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p738-753> Acesso em: 23 de jun de 2021.
- RODRIGUES, M. L. K., LEMOS, C. T., MACHADO, A. C. M., FRANCO, C. M. M. (2010). Eventos de mortalidade de peixes no rio dos Sinos ocorridos no ano de 2006. *Fepam em Revista*, 4(1) Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/fepamemrevista/downloads/Revista\\_V4N1\\_2010.pdf](http://www.fepam.rs.gov.br/fepamemrevista/downloads/Revista_V4N1_2010.pdf) Acesso em 12 fev 2021.

- ROSSATO, M. S. (2020). Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. *Entre-lugar*, 11(22), 57-85. DOI: <https://doi.org/10.30612/el.v11i22.12781>. Acesso em 14 ago 2021.
- SAAD, A., MARTINEZ, S., GOULART, M., SEMENSATTO, D., VARGAS, R., ANDRADE, M. (2015). Efeitos do uso do solo e da implantação da estação de tratamento de esgoto sobre a qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(1) 147–156. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p147-156> Acesso em 14 ago 2021.
- SANTOS, G. O., RIBEIRO, R. L., PARREIRA, T. P., SILVA, D. F., SILVA, K. A., AZEREDO, C. F. (2019). Monitoramento da água em bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no município de Rio Verde (GO). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá (PR). 12(1), 249-271. DOI: <https://10.17765/2176-9168.2019v12n1p249-271> Acesso em 12 ago 2021.
- SCHULZ, U. (2010). Rio dos Sinos: Causas do desastre não foram completamente eliminadas. [Entrevista especial concedida à Revista IHU On-Line]. *Revista Instituto Humanitas Unisinos*. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/31602-rio-dos-sinos-causas-do-desastre-nao-foram-completamente-eliminadas-entrevista-especial-com-uwe-schulz> Acesso em 19 ago 2021.
- SOPPER, W. E. (1975). Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. *Journal of Enviromental Quality*, 4(1), 24-29. <https://doi.org/10.2134/jeq1975.00472425000400010005x> Acesso em 19 jun 2021.
- STRIEDER, M.N., RONCHI, L. H., STENERT, C., SCHERER, R. T., NEISS, U. G. (2006). Medidas Biológicas e Índices de Qualidade da Água de uma Microbacia com Poluição Urbana e de Curtumes no Sul do Brasil, RS. *Acta Biologica Leopoldensia*, 28(1), 17-24. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237650226\\_Medidas\\_biologicas\\_e\\_indices\\_de\\_qualidade\\_da\\_agua\\_de\\_uma\\_microbacia\\_com\\_poluicao\\_urbana\\_e\\_de\\_curtumes\\_no\\_sul\\_do\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/237650226_Medidas_biologicas_e_indices_de_qualidade_da_agua_de_uma_microbacia_com_poluicao_urbana_e_de_curtumes_no_sul_do_Brasil) Acesso em 05 mai 2021.
- TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. (2013). *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo: Blucher.
- VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais.