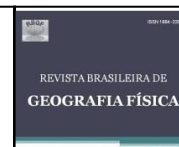




ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise Espacial de Dados de Monitoramentos de Qualidade de Água em Santa Catarina

Nayla Motta Campos Libos¹, Adilson Pinheiro², Rubia Girardi³

¹ Mestre em Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), artigo desenvolvido dentro da dissertação de mestrado. nayla.libos@gmail.com, ID Lattes: 7109551533758474, ID Orcid: 0000-0002-2392-9336.

² Professor Doutor do curso de Engenharia Ambiental da Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), pinheiro@furb.br, ID Lattes: 7655568160453478, ID Orcid: 0000-0001-8546-0046.

³ Doutora em Engenharia Ambiental pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), ru.girardi@gmail.com, ID Lattes: 3639941350504312, Orcid: 0000-0003-4136-2836.

Artigo recebido em 10/10/2022 e aceito em 05/01/2023

RESUMO

O monitoramento da qualidade da água é essencial para a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos e ambiental, pois é a base para ações de licenciamento, planejamento, outorga, fiscalização e enquadramento dos corpos d'água. Na maioria dos cursos de água do território brasileiro, a qualidade da água só pode ser avaliada a partir de séries de dados de monitoramento não sistemáticos, provenientes de empresas que exercem atividades potencialmente poluidoras. O objetivo geral deste trabalho é analisar as séries de dados de monitoramento não sistemático e sistemático de qualidade da água no suporte ao enquadramento dos corpos d'água. Analisou-se 152 laudos de 15 pontos de monitoramento sistemático executados pelo programa QUALIÁGUA SC nos corpos hídricos principais da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí (BHRI) e 2.201 laudos de monitoramento não sistemático realizados nos mesmos rios. Aplicou-se métodos de estatística descritiva, inferencial e espacial aos parâmetros DBO_{5,20°C}, DQO, Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal, com resultados indicando significativa similaridade entre as séries, exceto aos parâmetros Fósforo Total e Nitrato. As vantagens relacionadas à amplitude temporal da série de dados de monitoramento não sistemático indicam o alto potencial de apoio à gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: qualidade da água; monitoramento de recursos hídricos; análise espacial.

Spatial Assessment of Water Quality Monitoring Data in Santa Catarina (Brazil)

ABSTRACT

Monitoring water quality is essential for implementation of water resources management and environmental instruments, as well as the basis for licensing, planning, concession, inspection and water bodies classification. In most water courses in the Brazilian territory, water quality can only be evaluated from data series from non-systematic monitoring campaigns from companies that carry out potentially polluting activities. The general objective of this work is to evaluate the data series of non-systematic and systematic monitoring of water quality in the support of the classification of water bodies. We analyzed 152 campaigns carried out at 15 systematic monitoring points in the main water bodies of the Itajaí River Basin (BHRI) and 2,201 non-systematic monitoring campaigns carried out in the same rivers. For this, descriptive, inferential and spatial statistical methods were applied to the parameters BOD_{5,20°C}, COD, Thermotolerant Coliforms, Total Phosphorus, Nitrate and Ammoniacal Nitrogen, with results obtained indicated significant similarity between the series, except Total Phosphorus and Nitrate. The advantages related to the time span of the non-systematic monitoring data series indicate the high potential to support water resources management.

Keywords: water quality; monitoring of water resources; spatial analysis.

Introdução

Conhecida como Lei das Águas, a Lei 9.433/1997 visa assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos diversos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção

e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais. Para isso, foram estabelecidos instrumentos de gestão de recursos hídricos, como: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes; a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a

cobrança pelo uso dos recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Norteador dos instrumentos de outorga e cobrança, o enquadramento dos corpos hídricos visa estabelecer metas de qualidade para os corpos de água, segundo os usos preponderantes (Agência Nacional de Águas, 2019). Consiste em enquadrar os corpos hídricos superficiais em classes definidas pelos limites dos parâmetros de qualidade, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05. A partir do monitoramento da qualidade da água são obtidos os dados das variáveis que subsidiam o enquadramento dos recursos hídricos. Assim, o enquadramento baseia-se na qualidade que as águas devem possuir ou manter para atender as necessidades dos usuários e assegurar a disponibilidade aos múltiplos usuários, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (Brasil, 1997; Brasil, 2005b).

Machado et al. (2019) enfatizam que persistem muitas dúvidas desde a definição do enquadramento até a sua efetivação. Estas incertezas se relacionam a seleção dos parâmetros e as dificuldades associadas ao monitoramento da qualidade da água. Após a efetivação do enquadramento, dificuldades também são enfrentadas tanto no nível da operacionalização quanto na gestão dos resultados. Bitencourt et al. (2019) concluíram que dentre os pontos que podem dificultar a elaboração e implementação do enquadramento está a insuficiência de dados e a ausência da adoção de metodologias técnico-científicas consolidadas, que tem por consequência a dificuldade em implantar um sistema capaz de garantir o enquadramento dos corpos hídricos. Os autores ressaltam que no processo de enquadramento é necessário entender a relação das variáveis existentes, como a vazão de referência, os parâmetros de qualidade e a estimativa de cargas poluidoras. Os mesmos autores ainda concluem sobre a importância pelo entendimento das diferentes técnicas que podem ser aplicadas e os métodos adequados a serem adotados no processo de enquadramento para uma classificação mais eficiente.

O diagnóstico da qualidade das águas é uma das etapas iniciais do enquadramento e importante para a elaboração de planos de bacia, e se dá por meio de dados obtidos em monitoramento em corpos hídricos. Machado et al. (2019) ressaltam a importância de se fazer uso de dados diversificados no diagnóstico, uma vez que nem sempre a malha de monitoramento qualitativo do órgão gestor é suficiente. Os autores recomendam o uso de outros dados de qualidade da água, como os provenientes de empresas de saneamento ou

licenciamentos ambientais de empresas que exercem atividades potencialmente poluidoras.

Os programas de monitoramentos de qualidade de água diferem-se entre si, principalmente, por objetivo e metodologia, sendo geralmente executados por meio de dois processos: sistemático e não sistemático. O monitoramento sistemático caracteriza-se por possuir pontos de amostragem fixos, parâmetros de qualidade, metodologia de coleta e de análise definidos, além de frequência de coleta determinada. Conforme Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2018), o monitoramento sistemático permite acompanhar a evolução das condições da qualidade das águas ao longo do tempo e fornecer séries temporais de dados.

Os programas de automonitoramento de empresas que exercem atividades potencialmente poluidoras comumente ocorrem de forma não sistemática. Possuem distribuição espacial dos pontos amostrais em função da localização do empreendimento, sem considerar a bacia hidrográfica como um todo no processo de decisão da localização, além de geralmente possuírem periodicidade aleatória e ausência de padronização metodológica de coleta e/ou de análise (Girardi, 2019).

Este trabalho propõe aplicar análises estatísticas descritivas, inferenciais e espaciais para compreender as incertezas relacionadas aos dados de monitoramento sistemático e não sistemático de qualidade da água executados na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí (BRHI) no período de 2012 a 2021. A partir da análise espacial aplicada aos parâmetros de qualidade, pretende-se avaliar se há diferença significativa entre usar dados de qualidade de água oriundos de monitoramento sistemático e de não sistemático na implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Coelho (2019) apresenta que as fontes mais acentuadas de incerteza são a coleta de amostras e análises laboratoriais, incluídas também nas séries de dados de monitoramento sistemático. Dessa forma, analisa-se a hipótese de que os dados de qualidade de água de corpos hídricos oriundos de monitoramento não sistemático, quando comparados aos dados de monitoramento sistemático, apresentam incertezas aceitáveis à tomada de decisão para implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Material e métodos

O desenvolvimento do trabalho compreendeu as seguintes etapas: i) levantamento e organização dos bancos de dados; ii) sistematização e processamento dos dados; iii) análise estatística dos dados; iv) análise de

incertezas; v) análise dos dados na aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Área de estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, que pertence à Região Hidrográfica da Vertente Atlântico Sul, conforme divisão da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e na Região Hidrográfica RH7 – Vale do Itajaí, conforme divisão do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (Conselho Estadual de Recursos Hídricos – SC, 2018). Os regimes fluviais dos rios que compõem a Região Hidrográfica da Vertente Atlântico Sul são determinados, geralmente, pelo regime pluviométrico, o qual se caracteriza por chuvas bem distribuídas o ano inteiro (Santa Catarina, 2016).

A área de drenagem da bacia hidrográfica é de cerca de 15.000 km² e é a maior bacia hidrográfica do Estado de Santa Catarina (Vieira e Ribeiro, 2021). A BHRI está situada no norte do Estado de Santa Catarina e abrange 52 (cinquenta e dois) municípios inseridos integralmente ou parcialmente nesta, com destaque para os municípios de Blumenau, Brusque e Itajaí, estes com população residente acima de 100 mil habitantes. A população total é de cerca de 1.500.000 habitantes e destes, 85% residentes em áreas urbanas (Santa Catarina, 2017). O Plano Estadual de Recursos Hídricos (Santa Catarina, 2017) informa que do ponto de vista biótico, a bacia hidrográfica está inserida na região fitoecológica da floresta ombrófila densa e, com cerca de 40% da área total compreendida por remanescentes florestais, é a bacia hidrográfica com maior cobertura vegetal nativa de Santa Catarina. As atividades industriais e de prestação de serviços são os mais representativos, compondo cerca de 65% do PIB da região hidrográfica. Destaque para a indústria têxtil e cultivos agrícolas de milho, fumo, soja e arroz irrigado (Santa Catarina, 2017).

Base de dados

A bases de dados compreende os registros provenientes de monitoramento sistemático e monitoramento não sistemático de qualidade da água dos corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, os quais formam os dois bancos de dados que foram submetidos a análise e aplicação de métodos estatísticos espaciais e inferenciais.

O primeiro banco de dados, formado pelos resultados de monitoramento sistemático, é

composto pelos dados de análises realizadas pelo Programa QUALIÁGUA SC, iniciado no Estado de Santa Catarina no mês de março de 2019. No primeiro ano do programa foram amostrados 23 pontos e a partir de 2020 a amostragem expandiu para 40 pontos de monitoramento sistemático de qualidade da água superficial em Santa Catarina, com frequência de amostragem trimestral.

A rede de monitoramento sistemático da qualidade das águas superficiais na área de estudo compreendida pela Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, contou com oito pontos de amostragem na primeira fase do Programa QUALIÁGUA SC em 2019 e expandiu para 15 pontos no ano de 2020 (Santa Catarina, 2022).

As campanhas de monitoramento analisam 21 parâmetros físico-químicos e biológicos. Compõe o primeiro banco de dados, os resultados de análises de 12 campanhas durante os anos de 2019 a 2021, realizadas trimestralmente nos meses de março, junho, setembro e dezembro de cada ano.

O segundo banco de dados foi construído a partir da compilação de dados de monitoramento não sistemático, gerados por automonitoramento de empreendimentos que exercem atividades potencialmente poluidoras, resultantes de automonitoramento compulsório decorrentes de condicionantes vinculadas ao licenciamento ambiental. Este levantamento foi feito por meio da identificação e busca por empresas passíveis de exigência de realização de monitoramento dos corpos hídricos pelo órgão ambiental estadual, seguido pela busca de laudos de automonitoramento no sítio eletrônico do Sistema de Gestão de Protocolo Eletrônico do Governo de Santa Catarina. Para as empresas que realizam monitoramento dos corpos hídricos receptores de seus efluentes tratados, buscou-se pela localização dos pontos de coleta de amostra e identificação de coordenadas geográficas nos laudos técnicos disponíveis. Os monitoramentos realizados nos mesmos corpos hídricos do programa QUALIÁGUA SC foram selecionados para compor o banco de dados de monitoramento não sistemático.

A Figura 1 apresenta o mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí; a hidrografia monitorada pelo programa QUALIÁGUA SC e os pontos de coleta do programa, compreendidos pelo monitoramento sistemático e; os pontos da série completa (2012-2021) de dados de monitoramento não sistemático da qualidade das águas dos principais rios da BHRI.

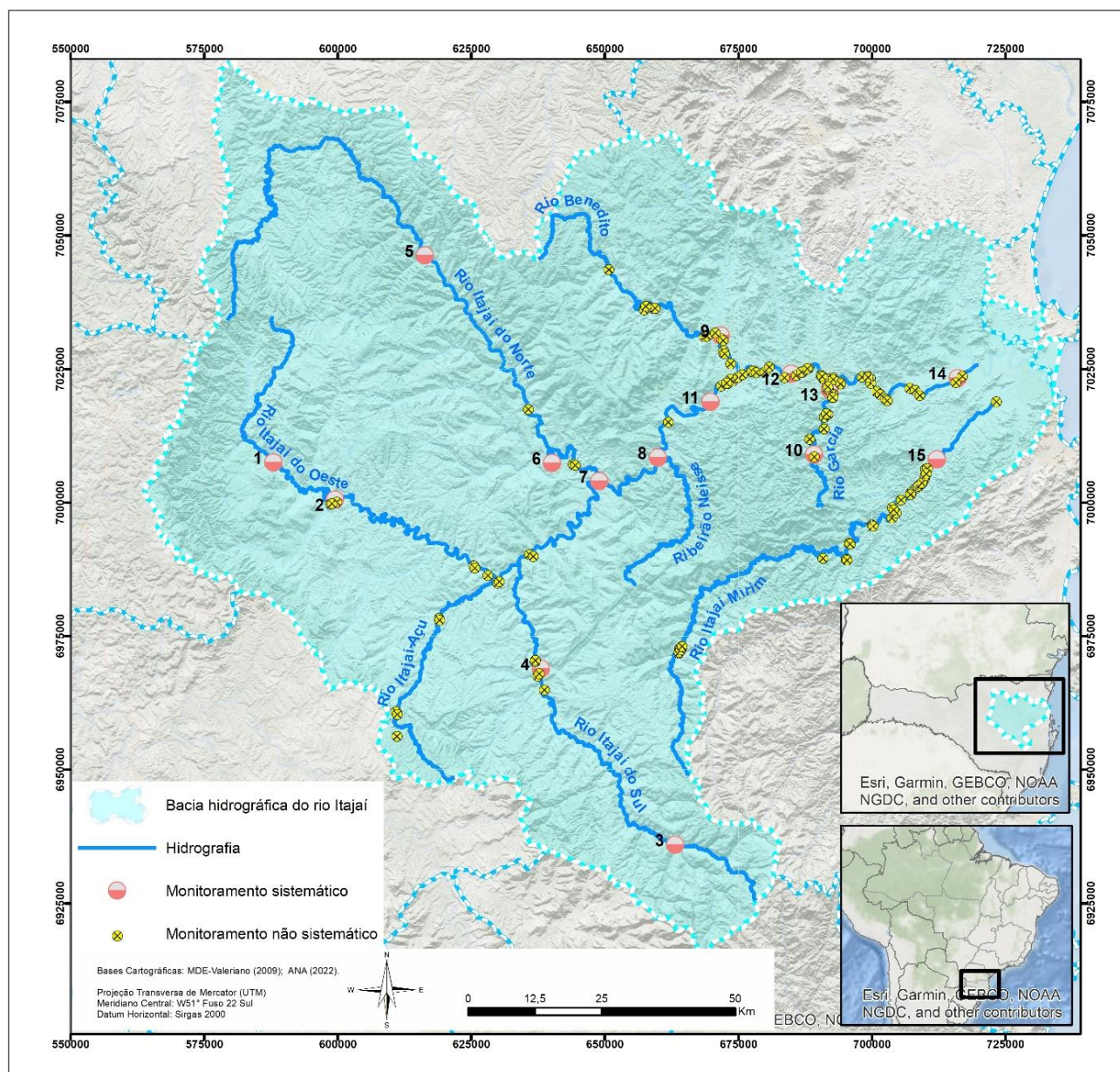


Figura 1 – Área de estudo e pontos de monitoramento qualitativo das águas superficiais

A fim de compatibilizar os bancos de dados, reduziu-se os parâmetros de qualidade de água de ambos os monitoramentos para possibilitar a comparação entre eles. O primeiro limitador foram os 21 parâmetros de qualidade analisados pelo programa QUALIÁGUA SC e, o segundo, os parâmetros de qualidade comumente monitorados pelas empresas, que por serem potencialmente poluidoras, executam análise de parâmetros que indicam a possibilidade de interferência na qualidade das águas dos rios em função das suas atividades. Dessa forma, em função da necessidade de similaridade entre os bancos de dados, limitou-se a comparação de seis parâmetros de qualidade: demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20^{\circ}C}$, mg/L de O_2); demanda química de oxigênio (DQO mg/L de O_2); coliformes termotolerantes (nº de CT/100 ml); fósforo total (mg/L de P); nitrato ($\mu\text{g/L}$ de N);

e nitrogênio amoniacal (mg/L de N). Foram identificadas as inconsistências nos dados, a fim de excluir registros fora do padrão (*outliers*) e proteger a qualidade dos resultados das análises estatísticas. Dados discrepantes, que evidenciam erros de transcrição, foram excluídos.

O banco de dados de monitoramento sistemático possui dados de análises realizadas entre os anos de 2019 e 2021 e o de monitoramento não sistemático, entre 2012 e 2021. O primeiro foi mantido com o período integral e para o monitoramento não sistemático foi gerado o banco de dados derivado com período reduzido, para que o monitoramento não sistemático possuía dados do período equivalente ao do monitoramento sistemático. Dessa forma, expande-se para três bancos de dados: 1. Monitoramento sistemático (2019 - 2021); 2. Monitoramento não sistemático

(2012 - 2021); 3. Monitoramento não sistemático (2019 - 2021). O banco de dados de monitoramento sistemático, construído para o período único de 2019 a 2021, possui 15 pontos de monitoramento e 152 laudos com resultados de qualidade das águas dos principais corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí.

O banco de dados de monitoramento não sistemático, do período completo, possui 144 pontos de amostragem e 2.201 laudos com resultados de análises da qualidade das águas dos rios principais da BHRI no período de 2012 a 2021. O banco de dados de monitoramento não sistemático para o período de 2019 a 2021, possui 63 pontos de monitoramento e 426 laudos do período.

Foi feita a espacialização dos bancos de dados por meio do *software* de geoprocessamento *ArcGIS 10*, a fim de transformá-los de planilha eletrônica em arquivo vetorial no formato *shapefile*. Os bancos de dados espacializados foram projetados no sistema de coordenadas UTM, *Datum* SIRGAS 2000, Zona 22S e puderam ser sobrepostos aos limites da bacia hidrográfica e hidrografia. Realizou-se a subdivisão dos bancos de dados a partir da localização dos pontos de coleta, sendo agrupados os pontos localizados nos mesmos cursos de água. São sete os rios com ocorrência dos dois tipos de monitoramento: rio Itajaí do Oeste, rio Itajaí do Sul, rio Itajaí do Norte, rio Benedito, ribeirão Garcia, rio Itajaí-Açu e rio Itajaí Mirim. Cada rio pôde formar dois grupos: 1. Monitoramento sistemático (2019-2021) e monitoramento não sistemático (2012-2021) e; 2. Monitoramento sistemático (2019-2021) e monitoramento não sistemático (2019-2021) e, conseqüentemente, ao total foram formados 14 grupos amostrais com os pontos de monitoramento sistemático e as diferentes séries do monitoramento não sistemático.

A adoção desta metodologia de agrupamentos para aplicação de análise estatística visa obter amostras com quantidades satisfatórias de dados de monitoramento, situação desejável para aplicação de análise estatística inferencial e espacial.

Em análises estatísticas, o número de amostras que compõe uma população é chamado de *n*. No monitoramento sistemático, *n* de todos os parâmetros é constante e varia nos grupos em função da quantidade de pontos monitorados e do número de campanhas executadas desde o início do programa QUALIÁGUA SC.

No monitoramento não sistemático, *n* varia por parâmetro, independentemente do número de amostras e de pontos de monitoramento. Dentre os parâmetros selecionados para as análises

estatísticas, a $DBO_{5,20^{\circ}C}$, seguido de DQO, Fósforo, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Amoniacal e Nitrato são os que tiveram maior incidência de execução em todos os corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí pelo monitoramento não sistemático do período de 2012 a 2021 e 2019 a 2021. O banco de dados de monitoramento não sistemático com análises realizadas entre 2019 e 2021 foi consideravelmente menor em número de análises (*n*) executadas. Além do período de análise ser menor, pode ter ocorrido interrupção de atividades no período pandêmico de Covid 19, uma vez que, o Governo Estadual, por meio do Decreto nº 562, de 17 de abril de 2020, declarou estado de calamidade pública em todo o território catarinense e, em decorrência, o Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina suspendeu por prazo determinado a apresentação dos monitoramentos ambientais e outras condicionantes de licenças ou autorizações ambientais, por meio da portaria IMA nº 73 de 24 de março de 2020.

Análise de dados

Na análise de dados utilizou-se a série compreendida pelo monitoramento sistemático como grupo controle.

Na análise descritiva do banco de dados de monitoramento sistemático criou-se diagramas de caixa ou *box-plots* e, para o banco de dados de monitoramento não sistemático, calculou-se as medianas.

Os *box-plots* ou diagramas de caixa são baseados em percentis e são um modo eficiente de visualizar a distribuição dos dados em uma população ou amostra (Bruce, 2019). Os *box-plots* foram criados a partir de todos os resultados de qualidade analisado nos 15 pontos de monitoramento do programa QUALIÁGUA SC, individualmente por parâmetro.

Para obter a tendência central das séries de dados e promover a homogeneização dos resultados do monitoramento não sistemático, calculou-se a mediana de cada ponto do banco de dados para a série completa e do banco de dados derivado (com período reduzido para 2019 a 2021), para cada parâmetro de monitoramento.

Foi realizado o teste de Shapiro-Wilk, ao nível de significância de 5%, dada sua confiabilidade e flexibilidade de aplicação aos diferentes tamanhos de amostras trabalhadas neste estudo (Miot, 2017), por meio do *software* estatístico *Past*.

Por meio de testes de hipóteses foi possível comparar os grupos amostrais dos dois bancos de dados de monitoramento de qualidade da água. Aos grupos que apresentaram comportamento de

não normalidade na distribuição dos dados, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney.

As variáveis de cada grupo, definidas pelos parâmetros de qualidade, foram comparadas entre os grupos amostrais. A hipótese de nulidade (H_0) testada é a de que as variáveis não têm igual comportamento nos dois grupos em uma mesma amostra, ao nível de significância (α) de 5%. Nas amostras em que a hipótese de nulidade foi verdadeira, estimou-se o nível de confiança por meio do cálculo do valor de probabilidade (p-valor).

A análise espacial da qualidade das águas foi executada por trechos de rios contemplados com monitoramento sistemático e não sistemático de qualidade das águas. Por meio de técnicas de geoprocessamento, interpolou-se os parâmetros de monitoramento não sistemático e gerou-se o mapa de tendência de qualidade da água, por parâmetro, em formato matricial (*raster*). Os dados interpolados foram preparados em termos de mediana da série de dados, obtidos por meio de técnicas de estatística descritiva.

Conforme Gomes (2017), os modelos matemáticos aplicados na interpolação estimam valores em regiões que não possuem monitoramento e obtém-se a percepção visual do comportamento destes parâmetros no rio. Dessa forma, os mapas resultantes visaram promover a distribuição de valores inicialmente pontuais, em distribuições espaciais. Foram produzidos a partir do banco de dados de monitoramento não sistemático, uma vez que possuem quantidade suficiente de pontos para um resultado satisfatório de interpolação. Os processos de interpolação foram executados para a séries de monitoramento não sistemático completa, com dados de 2012 a 2021 e para a série reduzida para o período de 2019 a 2021.

Conforme Pavão (2014), *Spline* é um método global de interpolação muito utilizado em geociência. É classificado como suavizador por gerar curvas mais suaves e tenta honrar ao máximo a série de dados. Mazzini et. al. (2009) relatam que o *Spline* é um método de interpolação muito aceito e utilizado, tendo como vantagens a boa convergência, aproximações precisas das derivações, e boa estabilidade na presença de erros de aproximação, assim foi o método aplicado.

A interpolação foi aplicada sucessivamente nos sete grupos amostrais e para cada um dos seis parâmetros de qualidade independentemente, resultando em 42 arquivos do tipo matriciais (*raster*) para cada período. A partir dos resultados da interpolação por *Spline*, os *rasters* foram processados por meio da ferramenta

Stack Profile do pacote *3D Analyst* a fim de gerar o perfil longitudinal dos parâmetros de qualidade das águas dos rios monitorados, de forma linear.

Para visualização do comportamento da qualidade dos rios ao longo de sua extensão por cada tipo de monitoramento – sistemático e não sistemático - foram incluídos os dados do monitoramento sistemático da qualidade da água nos gráficos gerados a partir dos perfis longitudinais do monitoramento não sistemático.

Os dados de entrada para a interpolação foram calculados em medianas. Dessa forma, foi realizada a comparação pontual das medianas de monitoramento não sistemático com os resultados do monitoramento sistemático, no mesmo local em que foram realizadas as coletas. Aplicou-se a diferença entre os resultados de cada monitoramento, obtendo-se a variação em porcentagem. Ressalta-se que esta comparação só foi possível devido à interpolação dos dados de monitoramento não sistemático, uma vez os pontos de coleta não são coincidentes.

Fluxo de massa

O fluxo de massa representa o transporte pelo sistema fluvial das massas das espécies químicas presentes. Ele é obtido pelo produto da concentração de cada parâmetro e a vazão média medida na estação de monitoramento da qualidade de água. O método de obtenção do fluxo de massa foi aplicado aos resultados do monitoramento sistemático do programa QUALIÁGUA SC. O programa não realiza a medição de vazão nos pontos de coleta, de forma que se calculou a vazão do corpo hídrico monitorado no ponto de coleta a partir de dados de vazão da estação fluviométrica mais próxima. Considerando que das 13 estações de monitoramento da qualidade da água consideradas para análise de fluxo de massa, 3 não são coincidentes com alguma das 10 estações fluviométricas utilizadas e, para estas, foi adotado o método de proporcionalidade de área para determinar a área de contribuição e posterior cálculo de vazão. O cálculo se deu pela divisão da vazão da estação fluviométrica pela sua área de drenagem e o resultado foi multiplicado pela área de drenagem da estação de monitoramento da qualidade da água do programa QUALIÁGUA SC.

A partir dos dados de carga de poluentes proveniente do monitoramento sistemático e da vazão média no dia da coleta medida nas estações fluviométricas, calculou-se o fluxo de massa anual na estação de qualidade de água, obtido pela expressão (Quilbé et al., 2006):

$$F = K \frac{\sum_1^n C_i Q_i}{\sum_1^n Q_i} \bar{Q}$$

onde F é o fluxo anual da massa da espécie química (kg), C_i é a concentração medida no dia i , Q_i é a vazão média do dia i , Q é a vazão média anual, k é o número de dias do período e n é o número de laudos de medição da qualidade da água no ano.

Este método foi aplicado aos parâmetros DBO, DQO, Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal. Os resultados de cada parâmetro em cada corpo hídrico foram interpolados por meio de ferramentas de geoprocessamento, utilizando estatística espacial, seguindo mesma metodologia aplicada aos resultados do monitoramento não sistemático. Como o critério mínimo para a interpolação é possuir ao menos dois pontos, os

rios Benedito e Itajaí Mirim não puderam ser interpolados, pois possuem apenas um ponto de monitoramento do programa QUALIÁGUA SC.

Resultados e discussão

Monitoramento Sistemático

Na Figura 2 são apresentados os diagramas de caixa ou *box-plots* construídos por parâmetro de monitoramento sistemático, com os resultados das campanhas realizadas na BHRI no período de 2019 a 2021 pelo monitoramento sistemático. Os valores plotados no limite superior de cada gráfico referem-se aos valores máximos das séries.

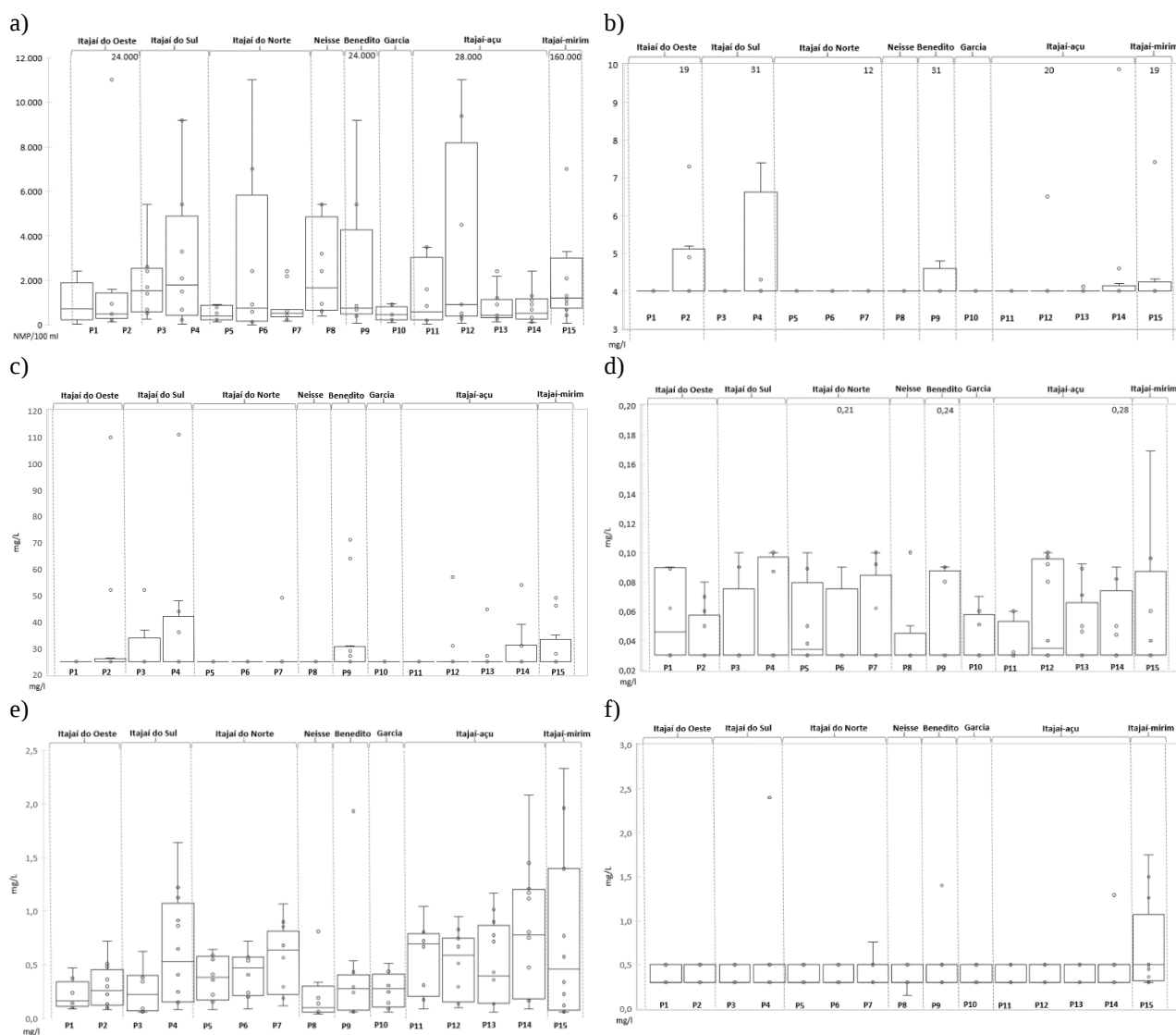


Figura 2 – *Box-plot* de monitoramento sistemático: a) Coliformes Termotolerantes, b) $DBO_{5,20^{\circ}C}$, c) DQO, d) Fósforo Total, e) Nitrato e, f) Nitrogênio Amoniacal.

Número no topo corresponde ao máximo da série.

Resolução CONAMA nº 357/2005: concentração máxima para rios de água doce, classe 2 de: Coliformes termotolerantes de 1.000 NMP/100mL, DBO de 5 mg/L; Fósforo total de 0,1 mg/L; Nitrato de 10 mg/L; Nitrogênio Amoniacal concentração máxima de 3,7 mg/L para $pH \leq 7,5$.

Os resultados do parâmetro coliformes termotolerantes ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí indicam grande variação da qualidade das águas, no que tange à contaminação por

coliformes termotolerantes (Figura 2a). A Resolução CONAMA 357/2005 define que para rios de água doce, Classe 2, os limites máximos de qualidade para coliformes termotolerantes são de

1.000 NMP/100mL, valor superado em todos os pontos de monitoramento, exceto nos pontos 5, no rio Itajaí do Norte e no ponto 10, no ribeirão Garcia. Os pontos 3 e 4 no rio Itajaí do Sul, o ponto 8 no ribeirão Neisse e o ponto 15 no rio Itajaí Mirim, possuem suas medianas com valores superiores ao limite da classe 2. De forma geral, as séries de coliformes termotolerantes na BHRI possuem grande amplitude das distâncias interquartis - justificada pela variação dos resultados - e a presença de dados discrepantes.

Os resultados de $\text{DBO}_{5,20^\circ\text{C}}$ tendem a um comportamento semelhante quando se observa os resultados das análises na BHRI, por meio dos diagramas da Figura 2b. Os limites inferiores coincidem com os limites de quantificação (LQ) determinados pelo laboratório, neste caso, de 4 mg/L. Exceto os pontos 2 (Itajaí do Oeste) e 4 (Itajaí do Sul), que possuem valores máximos acima do limite para rios de água doce classe 2, os demais estão dentro dos padrões, ainda que tenham apresentados valores discrepantes em algum resultado no período. O limite estabelecido para rios de água doce classe 2 foi superado em algum momento nos pontos 2 (Itajaí do Oeste); 4 (Itajaí do Sul); 7 (Itajaí do Norte); 9 (Benedito); 12 e 14 (Itajaí-Açu); e 15 (Itajaí Mirim); ou seja, em todos os rios da bacia hidrográfica, exceto ribeirões Neisse e Garcia.

A Demanda Química de Oxigênio não possui limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. O limite inferior das séries de dados é definido pelo limite de quantificação (LQ) das análises, neste caso, de 25 mg/L. A Figura 2c apresenta os resultados em *box-plot*, com destaque para o Rio Itajaí do Sul.

O parâmetro Fósforo Total tem o limite definido pela Resolução CONAMA 357/2005 de 0,1 mg/l; 14 dos 15 pontos de monitoramento na BHRI possuem seus limites superiores dentro do limite estabelecido para rios de água doce classe 2, sendo a exceção o ponto 15 no rio Itajaí Mirim, conforme Figura 2d. As séries possuem grandes amplitudes e divergem ponto a ponto em comportamento, o que indica significativa variação dos resultados. Os pontos 6 (Itajaí do Norte), 9 (Benedito) e 14 (Itajaí-Açu) apresentaram registros de dados discrepantes em alguma campanha de monitoramento.

Com grandes amplitudes de distâncias interquartis, a Figura 2e apresenta o parâmetro

Nitrato com resultados diversificados nos rios monitorados, principalmente nos rios Itajaí-Açu e Itajaí Mirim. Entretanto, ainda que variados e com presença de dados discrepantes, os valores encontram-se integralmente dentro do limite estabelecido pela classificação CONAMA 357/2005 para águas doce classe 2.

O parâmetro Nitrogênio Amoniacal produziu diagramas semelhantes nos pontos de monitoramento da BHRI (2f). Com exceção do ponto 15 no rio Itajaí Mirim, que possui amplitude diferenciada, todos os demais pontos possuem as mesmas distâncias interquartis, nas mesmas posições. Todos os resultados das análises ficaram dentro do limite estabelecido pela resolução 357/2005 para rios de água doce classe 2, que limita em 3,7 mg/L.

Monitoramento não sistemático

O conhecimento acerca da qualidade atual das águas superficiais é essencial para a execução do plano de bacia e de uma proposta de enquadramento dos corpos d'água em classes (Knaesel et al., 2020). Entretanto, a qualidade da água da maioria dos cursos da água brasileiros, de forma geral, somente pode ser avaliada por meio de monitoramentos de qualidade do tipo não sistemáticos, por falta de cobertura de rede de monitoramento sistemática dos órgãos gestores (Girardi et al., 2019). Paradoxalmente, a governança dos recursos hídricos deveria se dar pela ótica da qualidade da água por trechos dos rios (Girardi et al., 2022).

De forma representativa, os mapas apresentados na Figura 3 são classificados em escala de cores conforme os limites definidos pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de água doce de 1 a 4, sendo verde escuro, verde claro, amarelo e vermelho, respectivamente. Aos parâmetros Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal foram ignorados a classe 2, uma vez que os limites são os mesmos para classe 1. Os mapas retratam a tendência de evolução da qualidade da água dos rios, por trechos, para cada parâmetro de monitoramento e foram produzidos a partir dos dados de monitoramento não sistemático do período de 2019 a 2021, a fim de permitir análise considerando a probabilidade de cada classe de enquadramento.

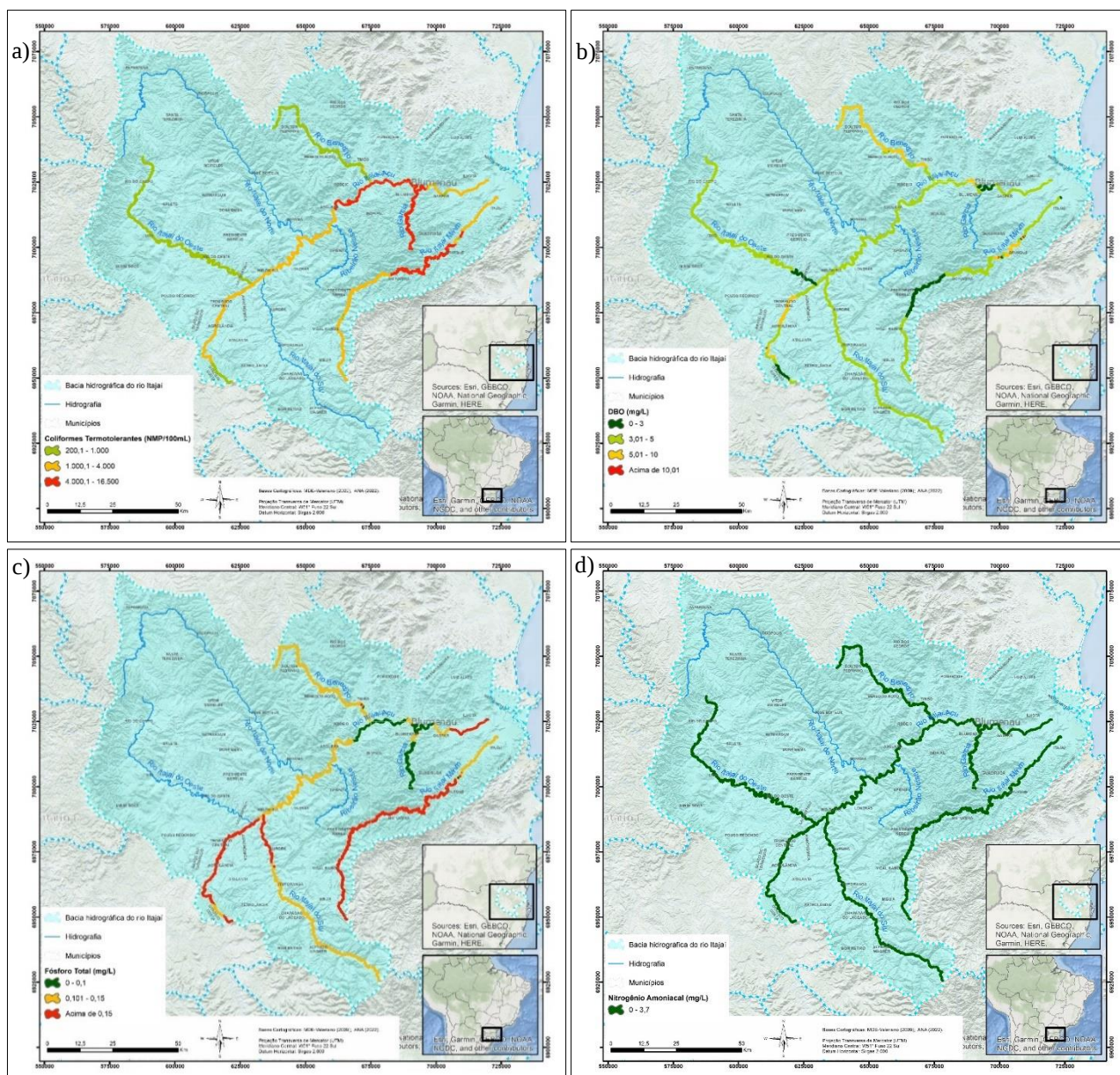


Figura 3 - Mapa de monitoramento não sistemático, Coliformes Termotolerantes (a) e DBO_{5,20°C} (b), Fósforo Total (c) Nitrogênio Amônia (d).

No mapa de tendência de Coliformes Termotolerantes, apresentado na a o rio Itajaí do Oeste e o rio Benedito têm comportamento aderentes a rios Classe 2. Os rios Itajaí-Açu e Itajaí Mirim se comportaram predominantemente como rios compatíveis com a Classe 3, porém com trechos com níveis tendenciais de coliformes termotolerantes correspondentes à classe 4. O rio Itajaí-Açu, trecho de montante, próximo à confluência dos rios Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste, apresentou limites compatíveis com rio classe 3 para Coliformes Termotolerante.

A DBO_{5,20°C} nos rios da BHRI teve comportamento tendendo a homogêneo, sendo que os rios Itajaí do Oeste, Itajaí-Açu e Itajaí Mirim poderiam ser classificados como rios classe 2 a partir destes resultados de tendência de DBO_{5,20°C} e

o rio Benedito, como classe 3. Todos os rios apresentaram trechos com qualidade variada, podendo ser equiparados à rios classe 1, 2, 3 e 4 em pontos específicos, conforme demonstra a b.

Quanto ao fósforo total (c), os corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí tiveram predominância de comportamento condizente com rios classe 3 no rio Benedito e no rio Itajaí do Sul, neste com trechos de classe 4 à jusante; similaridade com classe 3 no Itajaí-Açu com trechos de classes, 1 e 4. A classe 4 também foi predominante no rio Itajaí Mirim. Qualidade compatível com a classe 1 foi encontrada no ribeirão Garcia, com trechos de classe 3 a jusante. A grande variabilidade dos comportamentos das séries nos rios evidencia as diferentes origens e

pontos de poluição encontrados no decorrer dos rios.

O Nitrogênio Amoniacal, foi o único parâmetro dentre os analisados que em todos os rios obteve valores medidos inferiores à 3,7 mg/L, correspondendo à classe 1.

Comparação entre os grupos

A estatística espacial que resultou nos mapas de tendência e nos perfis longitudinais dos parâmetros de qualidade provenientes do monitoramento não

sistemático propiciou a comparação entre os grupos de monitoramento da qualidade das águas. Os gráficos com os perfis longitudinais da contém os pontos de monitoramento sistemático do programa QUALIÁGUA SC para comparação visual dos resultados e para observação quanto à hipótese de semelhança entre os grupos de monitoramentos. A comparação entre os grupos foi paralelamente executada e os resultados são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Teste de hipóteses entre os grupos de monitoramento da BHRI.

Grupo	Coliformes Term.		DBO _{5,20°C}		DQO		Fósforo Total		Nitrato		Nitrogênio Amoniacal	
	p	H0 x H1	p	H0 x H1	p	H0 x H1	p	H0 x H1	p	H0 x H1	p	H0 x H1
Itajaí do Oeste	0,02	Rejeita H0	0,92	Aceita H0	0,01	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,90	Aceita H0
Itajaí do Sul	0,94	Aceita H0	0,59	Aceita H0	0,05	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,32	Aceita H0
Benedito	0,61	Aceita H0	0,17	Aceita H0	0,21	Aceita H0	0,00	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,01	Rejeita H0
Garcia	0,77	-	0,04	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,21	Aceita H0	0,18	Aceita H0
Itajaí-Açu	0,07	Aceita H0	0,08	Aceita H0	0,35	Aceita H0	0,00	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,21	Aceita H0
Itajaí Mirim	0,73	Aceita H0	0,71	Aceita H0	0,43	Aceita H0	0,00	Rejeita H0	0,00	Rejeita H0	0,41	Aceita H0

O rio Itajaí-Açu há semelhança entre os grupos de monitoramento para quatro dos seis parâmetros: Coliformes Termotolerantes, DBO_{5,20°C}, DQO e Nitrogênio Amoniacal. A Figura 4 apresenta os mapas para estes parâmetros com os perfis longitudinais resultantes da interpolação das medianas dos laudos de monitoramento não sistemático e plota, no mesmo gráfico, os resultados das análises de cada amostra do programa QUALIÁGUA SC no rio Itajaí-Açu.

As imagens gráficas, que permitem a comparação pontual, admitem de forma visual o comportamento semelhante dos grupos no rio e, da mesma forma, explicam o acréscimo em alguns parâmetros à jusante de municípios com maior densidade demográfica e atividade industrial, como é o caso dos parâmetros Coliformes Termotolerantes, DBO_{5,20°C} e Nitrogênio Amoniacal à jusante de Indaial e Blumenau. Piazza et al. (2017) perceberam em estudo desenvolvido no município de Blumenau, que a influência antrópica e industrial foi representativa na descaracterização da qualidade de água.

No

Quadro 1 é possível observar os resultados das análises estatísticas inferenciais dos demais grupos definidos pelos rios da BHRI. Observa-se que o parâmetro DBO_{5,20°C} indicou semelhança pelo teste de hipótese em todos os rios, com exceção do

ribeirão Garcia. Com maioria dos grupos com aceite ao teste de similaridade dos bancos de dados, tem-se os parâmetros Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio Amoniacal, com semelhança indicada em cinco dos seis agrupamentos, sendo que o primeiro foi rejeitado no rio Itajaí do Oeste e o segundo, no rio Benedito. Com rejeição total ao teste, indicando diferença entre os bancos de dados, tem-se o Fósforo Total e, com rejeição parcial, com diferença entre cinco dos seis grupos, Nitrato.

Quando se analisou o comportamento individual do Fósforo Total no monitoramento sistemático do programa QUALIÁGUA SC, se observou que o comportamento da série indicou expressiva variação dos resultados e, quando se observou o mesmo parâmetro nos mapas de tendência de qualidade por meio do monitoramento não sistemático, viu-se que foram igualmente diversificados, sendo sugerida a possibilidade de aderência nas diferentes classes ao longo do rio, possivelmente por isso, a rejeição no teste de hipótese. A d, que trata apenas do rio Itajaí-Açu, vai de encontro ao exposto, entretanto, apresenta pontos com resultados coincidentes em ambos os monitoramentos.

O mapa de tendência resultou em série homogênea e constante para o nitrato, com reduzida variação à montante do rio Itajaí-Açu (e).

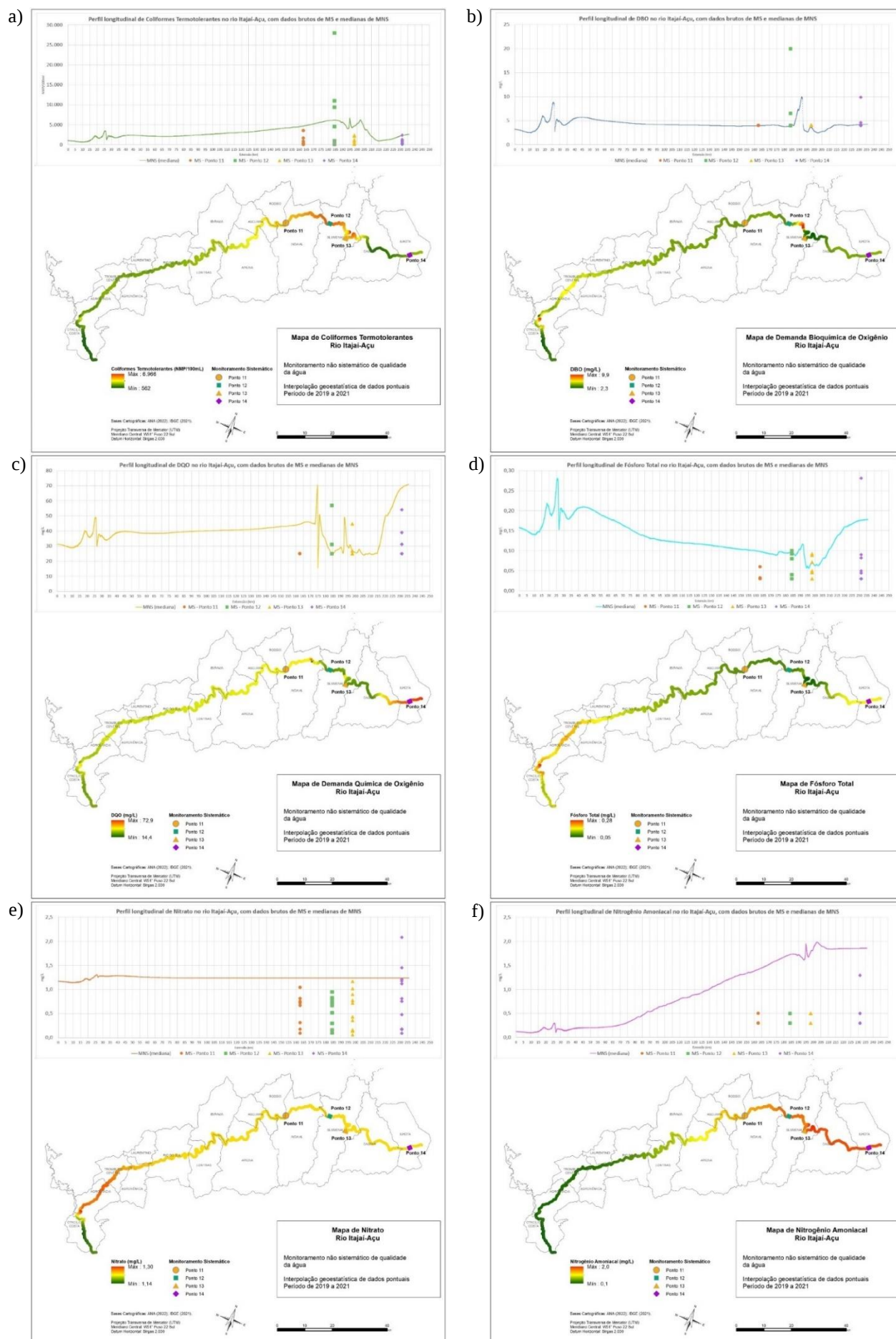


Figura 4 - Perfil longitudinal e mapa de tendência no rio Itajaí-Açu de a) Coliformes Termotolerantes, b) DBO_{5,20°C}, c) DQO, d) Fósforo, e) Nitrato e, f) Nitrogênio Amônia.

No rio Itajaí-Açu em que, pela ótica da possibilidade de semelhança pontual, os resultados indicam semelhança significativa dos resultados de $\text{DBO}_{5,20^\circ\text{C}}$ (b) e DQO (c), mas não respondem da mesma forma para Coliformes Termotolerantes (a) e Nitrato (e), evidência admissível pelas amplitudes dos valores das séries de dados destes parâmetros. Entretanto, ao analisar a a e e individualmente, correspondentes aos mapas dos parâmetros Coliformes Termotolerantes e Nitrato para o rio Itajaí-Açu, respectivamente, observa-se, por meio dos perfis longitudinais, que as curvas possuem pontos coincidentes com os resultados do monitoramento sistemático, o que indica a possibilidade de resultados pontuais análogos nos dois tipos de monitoramento, apesar da diferença estatística.

A partir das interpolações foi possível promover a sobreposição de camadas e aplicar estatísticas espaciais, a fim de identificar o quanto os monitoramentos possuem de aproximação em seus resultados e auxiliar na identificação das incertezas no suporte aos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Entende-se que a estatística espacial corrobora com a estatística inferencial e confirma a diferença estatística entre as amostras compostas pelos parâmetros Fósforo Total e Nitrato dos grupos comparados e, indica a semelhança entre os grupos de Coliformes Termotolerantes, $\text{DBO}_{5,20^\circ\text{C}}$, DQO e Nitrogênio Amoniacal no rio Itajaí-Açu.

São diversas as causas de incertezas que podem se relacionar ao uso das séries de dados de monitoramento não sistemático nos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Tucci (2006) descreve que as incertezas estão presentes nos erros de coleta de dados, na definição de parâmetros, na caracterização de um sistema, nas simplificações dos modelos e no processamento dessas informações. Anttila et al. (2012) citam como incertezas a variação temporal, perturbações antropogênicas, eventos hidrometeorológicos e movimentos endógenos. Coelho (2019) apresenta que as fontes mais acentuadas de incerteza são a coleta de amostras e análises laboratoriais, incluídas também nas séries de dados de monitoramento sistemático. Johnes (2007) reforça que uma importante fonte de incerteza é amostragem com frequência não estabelecida.

O sucesso do planejamento de recursos hídricos, que muitas vezes envolve o estabelecimento de metas de despoluição visando o atendimento aos padrões de qualidade da água segundo as classes de enquadramento, é altamente dependente da consistência da informação fornecida pelo monitoramento. Portanto, paralelamente aos obstáculos políticos e

institucionais, é necessário dar atenção aos aspectos técnicos, fundamentais no embasamento de discussões e processos de tomada de decisão associados, principalmente, à implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos (Coelho, 2013).

Os órgãos ambientais exigem que os empreendimentos que possuem atividades potencialmente poluidoras executem o automonitoramento, mas não estabelecem padrões de tratamento ou sistematização dos dados, o que não os torna confiáveis para outros usos em gestão de recursos hídricos (Girardi et al., 2022) e se utilizados, reproduzem as incertezas. Entretanto, as incertezas técnicas podem ser minimizadas com a implantação de procedimentos técnicos operacionais, padronização de processos, protocolos e ferramentas de análise e consistência dos dados (Coelho et al., 2019; Dobson et al., 2019).

As incertezas nas quais os dados de monitoramento não sistemático se pautam, somam-se às relacionadas à interpolação dos resultados em função de fatores como a variação espacial e insuficiência de dados em alguns trechos dos rios, que levam a resultados aproximados que podem não retratar fielmente a característica do trecho quanto à qualidade das águas. Estas incertezas, que atualmente são consideráveis, também podem ser minimizadas com a implementação de um sistema de informações de qualidade das águas para disponibilização de dados de monitoramento, devidamente padronizados e consistidos.

O questionamento quanto ao prejuízo decorrente da falta de informações de qualidade da água foi feito por Girardi et al. (2022), por meio do levantamento dos principais documentos produzidos pelo Estado, como o Diagnóstico Geral das Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina (Governo do Estado de Santa Catarina, 1997), o Panorama dos Recursos Hídricos em Santa Catarina (Governo do Estado de Santa Catarina, 2006) e o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (Governo do Estado de Santa Catarina, 2017). Os autores apresentaram a realidade do Estado quanto à fragilidade no conhecimento da qualidade das águas de suas bacias hidrográficas, uma vez que nenhum destes documentos produziu um diagnóstico especializado da qualidade das águas dos corpos hídricos superficiais das bacias hidrográficas. O aprimoramento dos bancos de dados para subsidiar os instrumentos de gestão de recursos hídricos visa preencher lacunas importantes para a melhoria contínua da governança dos recursos hídricos.

Fluxo de massa

O fluxo anual de massa calculado em 13 pontos de monitoramento sistemático pelo programa QUALIÁGUA SC é demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Fluxo de massa na BHRI.

Ponto		Município	Rio	Fluxo de massa (kg/ano)			
Numeração				DBO	DQO	Fósforo Total	Nitrogênio Amoniacal
Atribuída	QUALIÁGUA						
1	P25	Taió	Rio Itajaí do Oeste	3,5	21,9	0,050	0,310
2	P10	Taió	Rio Itajaí do Oeste	4,7	34,2	0,037	0,370
3	P30	Alfredo Wagner	Rio Itajaí do Sul	1,3	7,9	0,007	0,080
4	P7	Ituporanga	Rio Itajaí do Sul	3,8	22,7	0,031	0,291
5	P24	Itaiópolis	Rio Itajaí do Norte	4,6	29	0,066	0,414
6	P27	Ibirama	Rio Itajaí do Norte	4,6	34,9	0,090	0,457
7	P12	Ibirama	Rio Itajaí do Norte	5,5	33,7	0,058	0,571
9	P15	Timbó	Rio Benedito	6,3	31,0	0,072	0,471
11	P26	Indaial	Rio Itajaí-Açu	24,5	153,2	0,261	2,178
12	P16	Blumenau	Rio Itajaí-Açu	23,8	136,1	0,275	1,828
13	P13	Blumenau	Rio Itajaí-Açu	17,1	131,8	0,168	1,895
14	P14	Ilhota	Rio Itajaí-Açu	16,7	129,6	0,248	1,845
15	P11	Brusque	Rio Itajaí Mirim	3,8	19,3	0,038	0,309

A análise dos registros de qualidade da água dos rios fornece uma visão valiosa sobre o impacto da variabilidade climática, atividades antrópicas e agrícolas em bacias hidrográficas, além de permitir, por meio de análise de tendências, identificar a importância de controles de poluição (Johnes, 2007). As relações entre a vazão e as concentrações de massa podem variar dentro de um único evento hidrológico, dependendo das contribuições pontuais e poluição difusa (Chleppi et. al., 2006).

Analisando-se exclusivamente o fluxo anual de massa (), observa-se resultados majoritariamente crescentes de montante para jusante ao longo dos rios. O rio Itajaí do Oeste teve alta representativa em massa anual de DQO ao longo do rio e, menor, mas também considerável, em DBO, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total. O rio Itajaí do Norte apresentou variação crescente de montante para jusante DBO e DQO; ligeiro acréscimo em Nitrogênio Amoniacal; e acréscimo acentuado em Fósforo Total. O rio Itajaí do Sul, por sua vez, apresenta acréscimo considerável nos resultados de todos os parâmetros a jusante do primeiro ponto de monitoramento. As causas possíveis são os impactos resultantes de atividades antrópicas somadas as agropecuárias presentes na região.

Quadro 2 que o fluxo de massa anual no rio Itajaí-Açu é consideravelmente elevado em todos os parâmetros. Pereira e Rörig (2016) observaram aumentos significativos de nitrogênio amoniacal e fósforo no estuário do rio Itajaí-açu em momentos de descarga fluvial, provenientes de esgoto doméstico.

Os quatro pontos de monitoramento sistemático ao longo do rio estão localizados em municípios densamente urbanizados e industrializados, como Blumenau, que possui dois pontos de coleta. Acerca do ponto 13 em Blumenau, sobressai a exceção frente aos demais, uma vez que as massas são menores do que no ponto a montante – como dito, situação não predominante quando se analisa fluxo anual de massa específica. Pode-se explicar este fenômeno pelo efeito natural da autodepuração do rio, associado a medidas de controle de poluição, como existência de sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários em Blumenau, que, embora ainda não universalizado, possui esgotamento sanitário nas regiões com capacidade de impacto no trecho compreendido entre os pontos 12 e 13.

Os resultados de fluxo anual de massa do quadro 2 foram divididos em função da área de drenagem de cada ponto de monitoramento da qualidade da água, obtendo-se o fluxo anual de massa específica, apresentados nos gráficos da figura 5.

Observa-se no

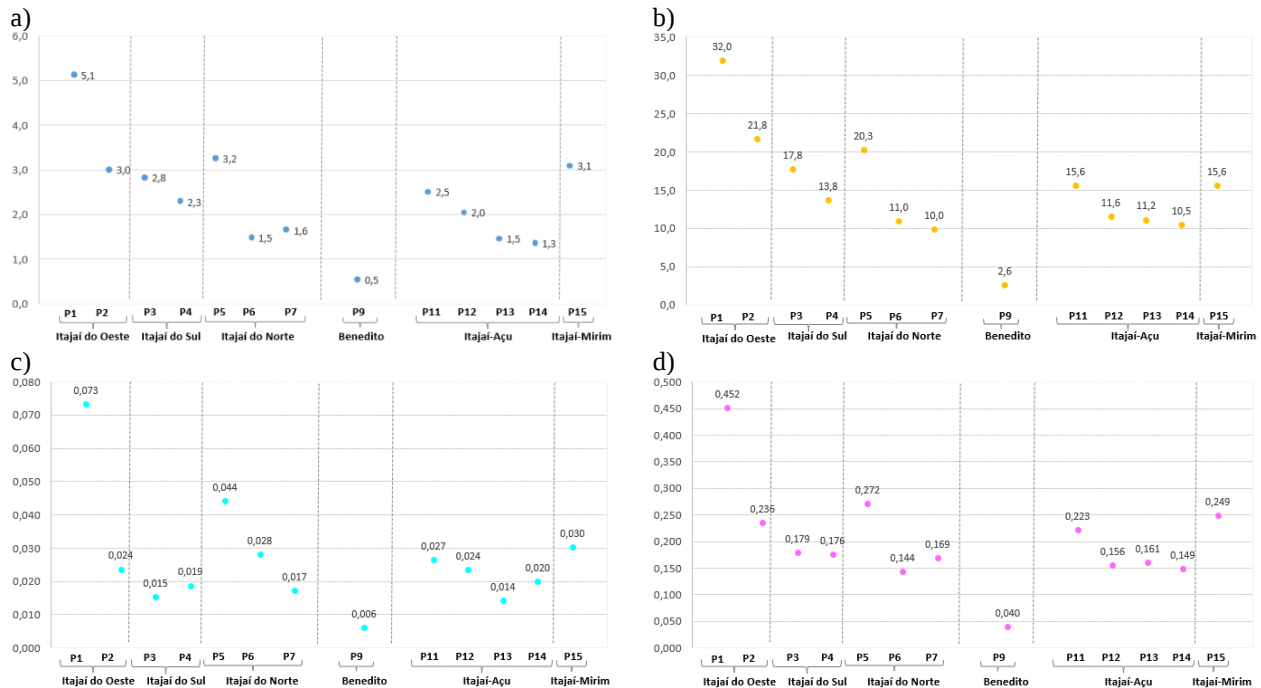


Figura 5 - Fluxo anual de massa específica (g/ano/km²) de a) DBO, b) DQO, c) Fósforo total e d) Nitrogênio Amoniacal

Quando se analisa o fluxo anual de massa específica apresentado nos gráficos da Figura 5, observa-se a influência da área de drenagem sobre a carga de poluentes, uma vez que passa a ter um decréscimo de massa ao longo dos rios, de montante para jusante, observado em todos os rios da BHRI. Em termos matemáticos, a premissa é verdadeira, pois é aplicada a divisão dos valores pelas áreas drenadas. Em termos hidrológicos, da mesma forma, maiores áreas de drenagem tendem a menores cargas de poluentes.

Os dados de concentração resultantes de monitoramento sistemático do programa QUALIÁGUA SC possuem metodologia conhecida e periodicidade estabelecida e foram o grupo controle desta pesquisa. Entretanto, incertezas estão relacionadas aos dados, em decorrência de fatores ambientais como estiagem e precipitação intensa que influenciam na qualidade de água e no tipo de poluição, se pontual ou difusa. Johnes (2007), alerta que as bacias com alta densidade populacional humana também retornam um grau relativamente alto de imprecisão nas estimativas de carga quando baseadas em observações diárias.

Conclusões

Os diferentes procedimentos aplicados para análise de séries temporais e espaciais de dados de qualidade de água de monitoramento sistemáticos e não sistemáticos permitiram

entender o diferenciado comportamento dos tipos de monitoramento e suas distintas respostas, a depender do método aplicado. A comparação de grupos de dados estabelecidos por meio de estatística inferencial e espacial, permitiu concluir que a estatística inferencial produziu resultados matemáticos com precisão, por meio de técnicas consolidadas de análise e que entregam uma resposta objetiva e determinística. A estatística espacial permitiu uma análise de tendência variando no espaço, com maior subjetividade, uma vez que a precisão é variável em função da distribuição da informação no espaço. O cruzamento ou análise conjunta das duas modalidades estatísticas permitiram bons resultados, inclusive, questionamento acerca das respostas produzidas pelos métodos.

Como critério de comparação dos grupos de dados, estabeleceu-se a igualdade de períodos temporais na estatística espacial, uma vez que a sensibilidade da interpolação reverbera nos resultados. Para a estatística inferencial, observou-se a necessidade de grupos com população maiores, independentemente da posição, exigência não significativa na geoestatística, que preza pela distribuição espacial dos dados para melhor qualidade da interpolação.

Os resultados obtidos indicaram significativa similaridade entre as séries de Coliformes Termotolerantes, DBO_{5,20°C}, DQO e Nitrogênio Amoniacal. As incertezas das séries de

dados de monitoramento não sistemático e sistemático de qualidade da água são expressivas e devem ser ponderadas previamente ao uso, por isso é importante a consistência prévia dos dados. Entretanto, a favorável distribuição espacial dos dados de monitoramento não sistemático permite a interpolação e geração de informações tendenciais onde não há dado e, consequentemente, permite análises e conclusões fundamentais para a gestão de recursos hídricos.

Ainda que o monitoramento executado pelo programa QUALIÁGUA SC possua metodologia conhecida e periodicidade estabelecida, capaz de produzir resultados sistemáticos, o número de pontos de análise é ainda inexpressivo, especialmente quando se considera a gestão em menor escala, por exemplo sob a ótica da qualidade da água por trechos de rios, como é relevante para o enquadramento.

Enquanto os dados de monitoramento não sistemático são historicamente produzidos em grande volume em todo o país pelas empresas que exercem atividades potencialmente poluidoras e permitem a aplicação de análise espacial e geração de mapas de tendência de qualidade, os dados de monitoramento sistemático apresentam grande limitação para este tipo de análise estatística, dada a baixa quantidade de pontos de monitoramento.

Diante do alto potencial de apoio à gestão, os dados de monitoramento não sistemático devem ser recebidos, consistidos e sistematizados pelos órgãos para fins de usos em gestão de recursos hídricos, pois conclui-se que dados provenientes de monitoramento não sistemático, apesar das incertezas, possuem qualidade comparável à dos dados de monitoramento sistemático para uso no suporte ao enquadramento dos corpos d'água e à tomada de decisão em relação aos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE) e ao Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) pelos dados de monitoramento dos corpos hídricos de Santa Catarina e ao CNPq (processo 304475/2020-3) pela bolsa de produtividade.

Referências

ANA, Agência Nacional de Águas, 2016. Resolução nº 643: Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água QUALIÁGUA e dá outras providências. Brasília.

ANA, Agência Nacional de Águas, 2019. Enquadramento dos Corpos d'água em Classes.

Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil. Brasília.

ANA, Agência Nacional de Águas, 2020. Direito de Águas à Luz da Governança. Brasília.

Anttila, S.; Ketola, M.; Kuoppamäki, K.; Kairesalo, T., 2012. Assessing temporal representativeness of water quality monitoring data. *Journal Environmental Monitoring* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.1039/C2EM10768F>

Bitencourt, C.C.A.; Fernandes, C.V.S.; Gallego, C.E.C.G., 2019. Panorama do enquadramento no Brasil: Uma reflexão crítica. *Revista de Gestão de Água da América Latina*. [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.21168/reg.v16e9>.

Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), 2005b. Resolução nº 48: Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Brasília.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 2020. Resolução nº 357: 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. Brasília.

Brasil, 1997. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro.

Brasil, 2020. Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro.

Bruce, P; Bruce, A., 2019. Estatística Prática para Cientistas de Dados: 50 conceitos essenciais. Alta Books. Rio de Janeiro.

Coelho, M., 2013. Estratégia de monitoramento da qualidade da água para a gestão de recursos hídricos em bacias urbanas. Dissertação (Mestrado). Curitiba, UFPR.

Coelho, M.; Fernandes, C.V.S.; Detzel D.H.M., 2019. Uncertainty analysis in the detection of trends, cycles, and shifts in water resources time series. *Water Resour Manage*. [online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02210-1>.

Dobson, B. Wagener T.; Pianosi F., 2019. How Important Are Model Structural and Contextual Uncertainties when Estimating the Optimized Performance of Water Resource Systems? *Water Resour*. [online] 55. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2018WR024249>.

Girardi, R, 2019. Monitoramento não sistemático da qualidade de água e seu potencial para utilização na gestão de recursos hídricos. Tese (Doutorado). Blumenau, FURB.

Girardi, R; Pinheiro, A.; Venzon, P.T., 2019. Parâmetros de qualidade de águas de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos. *Revista de Gestão de Água da*

- América Latina. [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.21168/reg.v16e2>.
- Girardi, R; Pinheiro, A.; Ramos, C.A., 2022. As incertezas na tomada de decisão no processo de governança dos recursos hídricos. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p503-517>
- Gomes, L.M.J; Vantil, S.M. Santos, I.C.L.; Vieira, E. M., 2017. Uso do geoprocessamento para análise de parâmetros da qualidade da água: estudo de casona bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170052>
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2018. Portal InfoHidro: Informações sobre recursos hídricos. Água Superficial. Disponível: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br>. Acesso: 17 ago. 2020.
- Johnes, P. J., 2007. Uncertainties in annual riverine phosphorus load estimation: Impact of load estimation methodology, sampling frequency, baseflow index and catchment population density. *Journal of Hydrology* [online] 332. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.07.006>
- Knaesel, K. M.; Pinheiro, A. Venzon, P.T.; Kaufmann, V., 2020. Scenarios of water quality management in watershed with distributed spatio-temporal simulation. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [online] 25. Disponível: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190111>
- Machado, E. S.; Knapik, H. G.; Bitencourt, C. C. A., 2019. Considerações sobre o processo de enquadramento dos corpos de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental* [online] 24. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181252>
- Mazzini, P.L.F.; Schettini, C.A.F., 2009. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quasesinóticos. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.14210/bjast.v13n1.p53-64>
- Miot, H.A., 2017. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.041117>
- Organização Pan-Americana da Saúde. OPAS. Histórico da Pandemia. Disponível: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19#:~:text=Em%2011%20de%20mar%C3%A7o%20de,pa%C3%ADses%20e%20regi%C3%B5es%20do%20mundo>. Acesso: 28 mar. 2022.
- Pavão, C. G., 2014. Avaliação de Metodologias de Interpolação Espacial para Dados Geofísicos de Espessura Crustal do Brasil. Tese (Doutorado). Brasília, UNB.
- Peixoto, L.O.M; Mizukawa, A.; Monego, M.L.C; Azevedo, J.C.R., 2021. Uso da krigagem ordinária na modelagem da poluição de rios – uma análise comparativa da performance de diferentes modelos e estratégias. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. São Paulo.
- Pereira, J.; Rörig, L. R., 2016. Balanço de Massa para Nutrientes Inorgânicos (N e P) no Estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p168-187>.
- Piazza, G. A.; Grott, S. C.; Goulart, J. A. G.; Kaufmann, V., 2017. Caracterização espaço-temporal da qualidade das águas superficiais dos mananciais de abastecimento de Blumenau/SC. *Revista de Gestão de Água da América Latina* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.21168/reg.v14e8>.
- Quilbé, R.; Rousseau, A. N.; Duchemin, M.; Poulin, A.; Gangbazo, G.; Villeneuve, J. P., 2006. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: application to the Beaurivage River (Québec, Canada). *Journal of hydrology* [online] 326. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.008>.
- Santa Catarina. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), 2018. Resolução nº 26, de 20 de agosto.
- Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, 2016. Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. Florianópolis.
- Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável, 2017. Bacias Hidrográficas. Florianópolis.
- Santa Catarina, 2020. Decreto nº 562, de 17 de abril.
- Tucci, C. E. M., 2006. Gestão de águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades, Brasília.
- Vieira, I. C. B.; Ribeiro, E. A. W., 2021. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água no rio Itajaí-Açu, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 38. Disponível: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248822>.
- Vieira, S., 2011. Introdução à bioestatística. 4. ed.: Elsevier, Rio de Janeiro.