



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Análise do cumprimento das metas e eficácia do enquadramento de corpos d'água das bacias hidrográficas de Caxias do Sul/RS

Daniela Menegat¹, Taison Anderson Bortolin², Vania Elisabete Schneider³, Tiago Panizzon⁴

¹Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS. dmenegat1@ucs.br

²Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM, Caxias do Sul, RS. tabortol@ucs.br

³Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Sergipe, SE. veschnei@ucs.br

⁴Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS. tpanizzo@ucs.br

Artigo recebido 19/09/2023 em e aceito em 14/02/2024

RESUMO

As atividades humanas têm causado degradação dos corpos hídricos ao longo do tempo. Sendo assim, a criação de um plano de gestão de recursos hídricos, visando compreender os rios que existem atualmente e os rios que se deseja obter se torna ferramenta fundamental. O presente trabalho possui o objetivo de analisar o cumprimento das metas estabelecidas para enquadramento de corpos hídricos com base na legislação, através do cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e do emprego da análise probabilística no período de 2012 a 2014 em comparação ao ano de 2022 em rios da área urbana do município de Caxias do Sul/RS. Foram analisados 11 pontos abrangendo as sub-bacias Faxinal, Maestra, Tega, Belo, Piaí e Pinhal. Para o cálculo do ICE foram analisados 14 parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os resultados do ICE apontaram a não conformidade e/ou o afastamento do enquadramento proposto nos dois períodos de estudo, demonstrando a dificuldade de alcançar a meta proposta de enquadramento devido a contaminação por meio de efluentes industriais e domésticos com elevada carga orgânica no corpo hídrico. Com base nas curvas probabilísticas, foi possível constatar que os parâmetros que mais contribuíram com o afastamento do enquadramento foram coliformes termotolerantes e fósforo. A análise estatística permitiu ainda concluir que os períodos analisados não apresentam diferença significativa da qualidade da água. Isto expressa a importância da revisão dos enquadramentos com metas e fiscalizações progressivas para que se possa atingir a proposição de enquadramento proposta para o uso da água definido pela população.

Palavras-Chave: Enquadramento. ICE. Análise probabilística. Qualidade da água.

Analysis of the achievement of the goals and effectiveness of the framework of water bodies in the water basins of Caxias do Sul/RS

ABSTRACT

Human activities have caused degradation of water bodies over time. Therefore, the creation of a water resources management plan, aiming to understand the rivers that currently exist and the rivers that one wants to obtain, becomes a fundamental tool. The present work has the objective of analyzing the fulfillment of the goals established for the classification of water bodies based on the legislation, through the calculation of the Conformity Index to the Classification (ECI) and the use of probabilistic analysis in the period from 2012 to 2014 in comparison to the year 2022 in rivers in the urban area of the municipality of Caxias do Sul/RS. Eleven points covering the Faxinal, Maestra, Tega, Belo, Piaí and Pinhal sub-basins were analyzed. For the calculation of the ICE, 14 physical, chemical and biological parameters were analyzed. The ICE results pointed to non-compliance and/or departure from the proposed framework in the two study periods, demonstrating the difficulty of achieving the proposed framework target due to contamination by industrial and domestic effluents with a high organic load in the water body. Based on the probabilistic curves, it was possible to verify that the parameters that most contributed to the removal from the framework were thermotolerant coliforms and phosphorus. Statistical analysis also allowed to conclude that the analyzed periods do not present a significant difference in water quality. This expresses the importance of revising the frameworks with targets and progressive inspections so that the proposal for the framework proposed for the use of water defined by the population can be achieved.

Keywords: Framework. ICE. Probabilistic analysis. Water quality.

Introdução

A água é um bem vital à toda e qualquer espécie do planeta, e está relacionada a diversos usos industriais, cotidianos e de lazer da população. Conforme Rocha et al. (2022), o desenvolvimento urbano acaba resultando em ações antagônicas que, ao mesmo tempo que aumenta a demanda por água de qualidade, ocorre a degradação dos recursos hídricos. Segundo Teodoro et al. (2013) devido aos diversos usos, diretos e indiretos da água, a necessidade de preservação e recuperação de recursos hídricos vem a cada dia se tornando mais evidente. Um dos grandes desafios, não apenas no Brasil, mas no mundo é a poluição dos corpos de água e como realizar o controle desse recurso natural (TEODORO et al., 2013). Grande parte das práticas industriais, comerciais, agropecuárias e do cotidiano da população requer uma água de qualidade para suas atividades, bem como para o consumo humano. Entretanto, conforme Tucci (2008) e Okumura et al. (2020) as atividades humanas têm causado significativa alteração na qualidade da água e na biodiversidade, oriundo principalmente pelo descarte inadequado de esgoto doméstico e efluentes industriais sem tratamento ou sem atendimento à capacidade suporte do recurso hídrico.

Para lidar com a preocupação com os recursos hídricos, foi criada a Lei nº 9.433 em 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A lei estabeleceu instrumentos para a gestão das águas no Brasil, como os Planos de Recursos Hídricos, sistemas de informações, outorga de direitos de uso das águas e enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes. Em 2008 o Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou a resolução de nº 91 que dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos hídricos. (CNRH, 2008).

Conforme tratado na Resolução, a proposta de enquadramento deve buscar o alcance necessário da disponibilidade da água em padrões de qualidade que sejam compatíveis com seus usos. O enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade possui o objetivo de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, e ainda auxiliar na diminuição dos custos de combate à poluição hídrica, mediante ações preventivas permanentes (PINTO et al., 2016; ANA, 2021). Além disso, o enquadramento deve ser referência, tanto para a condição atual da qualidade da água, quanto para a

desejada, ou seja, a meta pela qual se almeja encontrar o recurso hídrico com o objetivo de atender aos usos definidos pela sociedade. A proposição de um enquadramento deve considerar três diretrizes que visa primeiramente compreender a situação atual do recurso hídrico existente (o rio que temos), a percepção da sociedade quanto ao desejo de uso do recurso hídrico (o que rio queremos) e a compreensão acerca das condições, limites técnicos, sociais, econômicos, ambientais para alcance das metas (o rio que podemos ter).

Na resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), estão definidas as diretrizes para a classificação das classes de enquadramento dos corpos de água que deve ser realizada pelos comitês de bacias hidrográfica dentro do processo de planejamento dos recursos hídricos (BRASIL, 2005).

O Estado do Rio Grande do Sul, instituiu através da Lei nº 10.530 de 30 de julho de 1994 o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (Rio Grande do Sul, 1994). Através dessa Lei foi proposta a criação de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. Ficou instituído que em cada bacia hidrográfica fosse constituído um Comitê, ao qual receberia a função de coordenar as atividades dos agentes públicos e privados relacionados aos recursos hídricos e assim realizando as metas do Plano Estadual de Recursos Hídricos que estava previsto na presente lei (Rio Grande do Sul, 1994). O Plano Estadual de Recursos Hídricos foi instituído apenas no ano de 2014 através da Resolução CRH nº 141 (Rio Grande do Sul, 2014). Atualmente a FEPAM (2024), divulga relatórios com o objetivo de relatar a análise de dados de qualidade da água durante um ano em bacias localizadas nas três regiões hidrográficas que compõem o Estado do Rio Grande do Sul. No entanto, é importante notar que na região de Caxias do Sul, onde está localizada a área de estudo deste trabalho, não existem pontos de monitoramento da qualidade da água.

Dentro do município de Caxias do Sul, a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas engloba as sub-bacias, Faxinal, Maestra e Tega. O comitê de bacia, através da resolução CRH nº 121 (Rio Grande do Sul, 2012), estabeleceu horizontes de 10 e 20 anos para o enquadramento dos rios, considerando para a sub-bacia do Faxinal a proposta de enquadramento em Classe 3 no prazo de 10 anos e Classe 2 para o prazo de 20 anos. Nas sub-bacias do Maestra e Tega a proposta de enquadramento é para Classe 2 considerando o horizonte de 10 e 20 anos.

Já a Bacia Hidrográfica do Caí engloba as sub-bacias do Belo, Piaí e Pinhal. As resoluções CRH nº 50 (Rio Grande do Sul, 2008) e CRH nº 53 (Rio Grande do Sul, 2009), estabeleceram as metas de enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Caí determinando, num horizonte de 15 anos o prazo para atendimento da meta final, classificando assim os rios como Classe 2 para a sub-bacia do Belo e Classe 3 para Piaí e Pinhal, sendo o ano de 2023 o prazo final para atingir a meta.

Conforme Silva (2017), é necessária a avaliação da qualidade do curso d'água por meio de uma rede de monitoramento para se compreender a efetivação e acompanhar a eficácia das ações definidas nos planos de bacia. Essa é uma das maneiras de se avaliar a situação atual obtida pelos monitoramentos e a meta estabelecida pela legislação (HINATA, 2023). Também se faz necessária a compreensão do que consiste o atendimento ou não, do enquadramento proposto nos respectivos planos e/ou o quão distante está a qualidade do rio atual para aquela desejada (SILVA, 2017). A fim de verificar a situação do corpo hídrico em relação ao enquadramento planejado para seus usos, foi desenvolvido originalmente em 1997 *anadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines* (CCME, 2001), o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), com o objetivo de fornecer uma ferramenta para avaliação de dados de qualidade das águas, fazendo uso de diversos parâmetros e de fácil entendimento.

O ICE foi proposto por Amaro (2009) na avaliação da qualidade das águas das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), localizada no estado de São Paulo e atualmente é utilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2022) para avaliar os rios brasileiros. Conforme Amaro e Porto (2009), a utilização do ICE permite identificar se os corpos d'água estão ou não conformes com o enquadramento proposto pela legislação.

Lumb, Halliwell e Sharma (2006), Amaro e Porto (2009), Bortolin et al. (2013), Pinto et al. (2016), Silva (2017), Oliveira et al. (2018) e Oliveira et al. (2018), Reis et al. (2019), Santos et al. (2020), Costa et al. (2022), Rocha et al. (2022), Sobreira Silva et al. (2022), Hinata et al. (2023), Martins (2023), utilizaram o ICE para avaliar o enquadramento nos corpos hídricos e verificar os parâmetros que possuem o maior número de desconformidades em relação à classe de uso proposta pelo enquadramento da bacia. Isto demonstra a importância da utilização de um índice que permita compreender se as metas propostas nos

Planos de Recursos Hídricos para qualidade da água estão sendo atendidas. Além de verificar o cumprimento das metas propostas nos planos de bacia, se faz necessário avaliar a eficácia do enquadramento estipulado pelos planos, a fim de se compreender se a meta proposta foi audaciosa tendo em vista a situação do rio atual e o uso pelo qual a população faz desse e a quantidade de recursos disponíveis para alcançar a meta desejada.

A fim de facilitar a interpretação dos dados obtidos através da ferramenta do ICE, pode-se também fazer o uso das curvas probabilísticas. Cunha e Calijuri (2010), Guimarães et al. (2016) e Santos et al. (2018) utilizaram curvas probabilísticas como forma de condensar as informações da qualidade da água e auxiliar na tomada de decisão, identificando as áreas prioritárias para ações de recuperação. O uso das curvas probabilísticas pode ser ferramenta de divulgação de dados à sociedade por apresentar de forma clara e sucinta a informação pertinente, além de auxiliar o poder público na tomada de decisões, identificando áreas prioritárias para ações efetivas.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar o cumprimento das metas estabelecidas para enquadramento de corpos hídricos com base na legislação, através do cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e do emprego da análise de curvas probabilística em rios que cruzam a área urbana do município de Caxias do Sul no estado do Rio Grande do Sul no período de 2012 a 2014 em comparação ao ano de 2022.

Metodologia

Área de estudo

O estudo foi realizado na área urbana do município de Caxias do Sul, localizado no Estado do Rio Grande do Sul. Escolheu-se analisar a área urbana do município pois é a que mais sofre com o processo de pressão antrópica. Caxias do Sul se encontra na Região Hidrográfica do Guaíba, no divisor de águas do comitê da Bacia Hidrográfica do Caí – G 030, e do comitê da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas – G 040, (RIO GRANDE DO SUL, 2022), conforme apresentado na Figura 1.

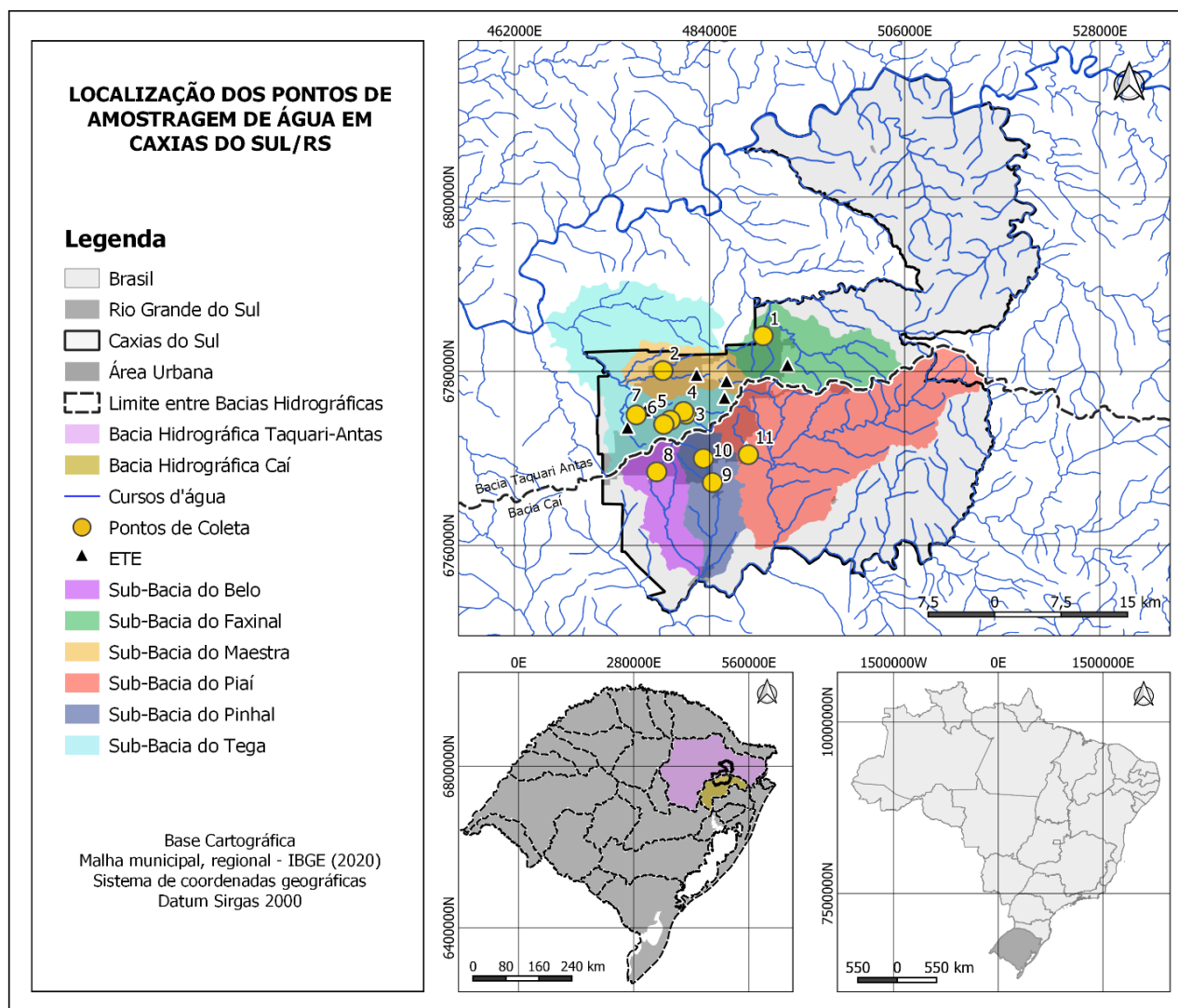


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos pontos de amostragem

Foram monitoradas seis sub-bacias, sendo que as sub-bacias do Tega, Faxinal e Maestra estão inseridas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, enquanto as sub-bacias Belo, Piaí e Pinhal estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Caí.

As metas de qualidade da água planejadas para as Bacias Hidrográficas em que se inserem os pontos de análise do presente estudo, estão definidas na Resolução nº 121 de 12 de dezembro de 2012 (RIO GRANDE DO SUL, 2012) para o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, na qual propõem horizontes de 10 e 20 anos para enquadramento dos rios. E nas Resoluções CRH nº

50 (RIO GRANDE DO SUL, 2008) e CRH nº 53 (RIO GRANDE DO SUL, 2009), que tratam sobre o enquadramento das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, determinando um horizonte de 15 anos para o atendimento final da meta proposta.

Os comitês de bacia, dentro de seus planos, realizam o enquadramento dos corpos hídricos com base na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Na Tabela 1 são apresentados, para os pontos amostrados, o código do ponto no mapa (ID), as denominações dos pontos, descrição da localização e a coordenada expressa em UTM fuso 22S.

Tabela 1 - Localização e descrição dos pontos de amostragem

ID	Ponto	Descrição	Coordenada	Bacia
1	Faxinal 3	Localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Faxinal. Antigamente, existia no local um curture, existindo atualmente o passivo ambiental.	4889940 E 6784021 S	Sub-Bacia do Faxinal
2	Maestra 2	O ponto está localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Maestra.	478754 E 6780109 S	Sub-Bacia do Maestra
3	Tega 3	O ponto localiza-se na parte canalizada do rio Tega, recebendo o efluente de área densamente urbanizada.	481323 E 6775061 S	Sub-Bacia do Tega
4	Tega 4	O ponto localiza-se em área densamente urbanizada e industrial.	481103 E 6775401 S	Sub-Bacia do Tega
5	Tega 5	O ponto localiza-se junto ao espaço cultural Moinho da Cascata, no rio Tega.	479547 E 6774453 S	Sub-Bacia do Tega
6	Tega 6	O ponto localiza-se em local com elevada densidade de ocupação e de atividades. Destaca-se a existência de tubulações oriundas das residências que contribuem diretamente com o rio.	478776 E 6773906 S	Sub-Bacia do Tega
7	Tega 9	O ponto localiza-se a jusante da Estação de Tratamento de Efluentes do Rio Tega. Recebe a contribuição dos demais pontos monitorados na bacia do Tega.	475709 E 6775016 S	Sub-Bacia do Tega
8	Belo 1	O ponto localiza-se em área de influência antrópica.	4788070 E 6768469 S	Sub-Bacia do Belo
9	Pinhal 1	O ponto recebe as contribuições de drenagem do ponto Pinhal 2 e de bairros da zona sul do município, bem como, de uma região a sudeste com mata mais preservada e com baixa ocupação populacional.	484336 E 6767234 S	Sub-Bacia do Pinhal
10	Pinhal 2	O ponto localiza-se a montante da Estação de Tratamento de Efluentes do Arroio Pinhal.	483312 E 6769864 S	Sub-Bacia do Pinhal
11	Piaí 4	O ponto de amostragem recebe contribuições de extensas áreas urbanizadas.	488463 E 6770404 S	Sub-Bacia do Piaí

Levantamento de Dados

Foram definidos onze pontos de amostragem para análise da qualidade da água localizados na área urbana do município de Caxias do Sul, abrangendo as duas Bacias Hidrográficas no qual o município se insere.

Os dados de qualidade da água do Período 1, que compete aos anos de 2012 a 2014, foram obtidos do banco de dados do Sistema de Informação Ambiental - SIA (SIA, 2023) através de campanhas de amostragem, realizadas nos meses de setembro de 2012 a maio de 2014, totalizando 11 campanhas. O SIA foi desenvolvido pela Universidade de Caxias do Sul e possui o objetivo de armazenar dados gerados em monitoramentos de qualidade da água, climatologia e fauna, além de gerar relatórios e

análises da situação ambiental das bacias hidrográficas da região (SIA, 2023).

Os dados do Período 2, foram obtidos através de coleta e análise da água realizada de forma bimestral nos meses de fevereiro a novembro de 2022, totalizando 6 campanhas. As amostras foram coletadas seguindo os procedimentos da NBR 9898/1987 (ABNT, 1987) e do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2016), e os ensaios foram realizados pelo laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais, LAPAM, conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23 (APHA, 2017). Os parâmetros analisados foram: cianeto, clorofila- α , coliformes termotolerantes, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos

dissolvidos totais, turbidez e zinco. Tais parâmetros foram selecionados por possuírem limites estabelecidos na resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), tendo em vista que a verificação de desconformidade é medida com base na meta estabelecida para cada classe de enquadramento do corpo hídrico e por serem indicadores de contaminação orgânica (efluente doméstico) e contaminação química (metais).

Cálculo do índice de conformidade ao enquadramento

O ICE é utilizado para indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação, sendo composto pelos seguintes fatores:

Fator 1 - Abrangência/Espaço: representa a abrangência das desconformidades, isto é, o número de variáveis que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período de observação (Equação 1).

Equação 1:

$$\left(\frac{n^{\circ} \text{ de variáveis que ultrapassam o limite}}{n^{\circ} \text{ total de variáveis}} \right) \times 100$$

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que a variável esteve em desconformidade em relação ao número de observações (Equação 2).

Equação 2:

$$F_2 = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de medições que ultrapassam o limite}}{n^{\circ} \text{ total de medições}} \right) \times 100$$

Fator 3 - Amplitude: representa a extensão da não conformidade legal, isto é, a diferença entre o valor medido e o limite legal, sendo calculado em três etapas:

- I) O número de vezes no qual a concentração individual é maior que o limite da classe (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo);
- II) O número total de medições individuais que está em desacordo com o limite legal é calculado somando as variações individuais em relação aos limites legais e dividindo pelo número total de medições;
- III) O valor de F3 é calculado pela soma normalizada das variações em relação aos limites legais, sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100. A fórmula de cálculo do ICE é apresentada na Equação 3.

Equação 3:

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

O fator de 1,732 normaliza os valores resultantes para a faixa entre 0 e 100, onde 0 representa a pior qualidade e 100 a melhor qualidade das águas. São estabelecidas faixas de valores para este índice, as quais caracterizam a qualidade das águas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Faixas de classificação do ICE

Categorias	Faixa de Valores	Descrição
CONFORME	$80 \leq ICE \leq 100$	A maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade da água
AFASTADO	$45 \leq ICE < 80$	As medições estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água
NÃO CONFORME	$ICE < 45$	A maioria ou a totalidade das medições está violando os limites da classe de enquadramento

FONTE: adaptado de Amaro (2009) e Bortolin *et al.* (2013).

Estatística descritiva e curvas probabilísticas

Foi realizada a estatística descritiva das séries históricas por períodos e bacias hidrográficas, obtendo-se os valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão. Além disso, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para verificar se existia diferença estatística entre os períodos 1 e 2 em cada bacia hidrográfica de estudo. Igualmente à Sabino, Lage e Noronha (2017), foi considerado para o teste, o nível de significância de 5%.

As análises se deram com o auxílio do software JASP versão 0.17.2.1 de maio de 2023, programa livre e de código aberto criado para auxiliar em análises estatísticas gerenciado pela Universidade de Amsterdã (JASP, 2023).

As curvas probabilísticas foram geradas através da análise dos parâmetros que mais contribuíram para a desconformidade ou afastamento dos cursos d'água de estudo e que definem o enquadramento das bacias. Os

parâmetros selecionados para criação das curvas foram coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal. Para as curvas probabilísticas foram utilizadas planilhas de Excel®.

Resultados e discussões

A seguir são apresentados os resultados obtidos para as sub-bacias hidrográficas do

município de Caxias do Sul, bem como suas respectivas discussões.

Sub-bacias do Taquari Antas

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos parâmetros selecionados para cálculo do ICE, separados em dois períodos: o Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022) para a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos pontos localizados na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022)

Parâmetro	Período 1 ¹				Período 2 ²			
	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.
Cianeto (mg/L)	0,975	0,01	0,12	0,20	0,41	0,01	0,03	0,07
Clorofila- α (mg/m ³)	45,39	0,05	7,62	9,45	0,05	0,05	0,05	0,00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	1,6x10 ⁷	7,9x10 ²	8,8x10 ⁵	2,32x10 ⁶	1,6x10 ⁶	5,4x10 ³	1,89x10 ⁵	4,65x10 ⁵
Cromo (mg/L)	3,89	0,04	0,32	0,55	0,16	0,004	0,032	0,04
DBO (mg/L)	177,6	4,30	31,94	35,29	151,9	1,80	13,60	24,56
Fósforo (mg/L)	9,51	0,242	1,14	1,19	2,95	0,22	1,06	0,69
Níquel (mg/L)	1,97	0,002	0,26	0,31	0,42	0,008	0,05	0,08
Nitrato (mg/L)	24,55	0,41	6,39	5,69	6,49	0,04	1,76	1,58
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	26,90	1,42	10,81	5,53	25,89	3,07	9,08	6,38
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	12,51	1,52	7,86	2,88	8,10	0,17	5,26	2,34
pH	8,79	6,52	7,64	0,44	8,63	7,19	7,72	0,35
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	515,00	1,00	246,77	99,13	272,00	34,00	148,29	52,66
Turbidez (NTU)	383,00	0,00	30,20	50,99	32,80	1,20	9,10	8,03
Zinco (mg/L)	2,30	0,034	0,335	0,404	0,83	0,01	0,14	0,15

¹ Período 1 (2012 a 2014); ² Período 2 (2022)

Máx. – concentrações e teores máximos encontrados; Mín. – concentrações e teores mínimos encontrados; Méd. – concentrações e teores médios encontrados; Desv. Pad. – desvio padrão das concentrações e teores encontrados.

A partir da Tabela 3, é possível observar que há diferenças em parte dos parâmetros dos períodos analisados.

O Período 1 apresentou valores médios mais elevados de cianeto, clorofila- α , cromo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), níquel, nitrato, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco quando comparados ao Período 2. O parâmetro cianeto apresentou o maior valor no período 1 com 0,975 mg/L no ponto Tega 6. O cianeto está relacionado a indústrias de galvanoplastia, indústria química e outros (CETESB, 2017). A montante do ponto em questão existem empresas que podem estar relacionadas aos valores de cianeto encontrado. A maior concentração de DBO no Período 1 foi encontrada no ponto Tega 3 com 177,6 mg/L, resultado que excede 17 vezes o máximo permitido para enquadramento em classe

3 na CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Nesse mesmo ponto foi encontrado o valor máximo de nitrogênio amoniacal que chegou a 26,9mg/L. O ponto em questão caracteriza-se por receber contribuições da bacia mais urbanizada do município. Para o parâmetro coliformes termotolerantes, os valores ficaram acima do preconizado da resolução 357/05 no ponto Tega 4 chegando a 1,6x10⁷ NMP/100ml.

Os parâmetros de fósforo e pH não apresentaram variação expressiva entre as médias dos períodos 1 e 2, apresentando médias de 1,14 mg/L e 1,06 mg/L respectivamente. O fósforo apresentou maior concentração no ponto Tega 3, chegando a 9,51 mg/L, valor que ultrapassa 60 vezes o limite da CONAMA 357 (BRASIL, 2005), para classe 3 de enquadramento.

Na região de estudo o fósforo não possui origem natural, pois os solos e as rochas encontrados possuem baixa concentração natural de fósforo (Von Sperling, 1996). Nesse caso a

fonte principal de fósforo nos corpos hídricos é de origem antrópica, com destaque para os efluentes industriais sem tratamento ou os efluentes domésticos que não estão conectados as ETES.

Os metais como cromo e níquel apresentaram os maiores resultados no ponto Tega 4, ponto esse marcado pela forte presença de atividades industriais. Os valores encontrados no Período 1 ultrapassam os limites propostos nas classes da CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que preconiza o valor máximo de 0,05 mg/L de cromo e 0,025 mg/L de níquel para as Classes 1, 2 e 3.

No Período 2 os parâmetros cianeto, cromo, coliformes termotolerantes, DBO, níquel e nitrogênio amoniacal apresentaram valores que ultrapassam o limite de enquadramento. O cianeto chegou a 0,41 mg/L e o cromo em 0,16 mg/L, ambos no ponto Tega 4, mesmo ponto que apresentou valores elevados para esses parâmetros no período 1.

O parâmetro de coliformes termotolerantes ultrapassou o limite de enquadramento, chegando a $1,6 \times 10^6$ NMP/100ml nos pontos Faxinal 3 e Tega 3. Mesmo considerando os valores mínimos encontrados para ambos os períodos, esses não possibilitam o enquadramento dos corpos d'água em classes diferentes à Classe 4 da CONAMA 357 (BRASIL, 2005). A DBO e o nitrogênio amoniacal apresentaram valores elevados no ponto Tega 3, igualmente no Período 1. No Período 2, os máximos valores encontrados foram de 151,9 mg/L para DBO e 25,89 mg/L de nitrogênio amoniacal.

O níquel, diferentemente do Período 1, apresentou sua máxima concentração no ponto Tega 5, ponto que está a jusante do ponto Tega 4, ponto esse que apresentou valores elevados no primeiro período de análise.

A fim de identificar se existe diferença estatisticamente significativa entre as médias das variáveis dos períodos 1 e 2, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. O teste apresentou significância de 0,312 sendo o valor maior que 0,05 o que leva a aceitar a hipótese nula de que não existem diferença significativa entre os períodos 1 e 2 de estudo. O resultado aponta que não existe diferença significativa entre os períodos analisados.

Desta forma, apesar de haver uma melhora nos parâmetros analisados no Período 2 em comparação ao Período 1, os valores encontrados demonstram que a degradação do corpo hídrico persiste.

A fim de se compreender se os rios de estudo estão atingindo o enquadramento proposto, foi realizado o cálculo de ICE. A Resolução nº 121 de 12 de dezembro de 2012 (RIO GRANDE DO

SUL, 2012), estabeleceu metas de enquadramento para os seus rios, sendo a meta intermediária até o ano de 2022 e a meta final até 2032.

A presente Resolução não considerou o parâmetro fósforo para a determinação dos enquadramentos propostos, sugerindo apenas que fossem elaborados estudos para determinação da concentração basal do fósforo na bacia em questão, para assim determinar os padrões de qualidade da água.

O ponto localizado na Sub-Bacia do Faxinal, conforme apresentado na Tabela 4, possui proposta de enquadramento para classe 3 até o ano de 2022 e classe 2 até o ano de 2032. As sub-bacias do Maestra e Tega possuem a proposta de enquadramento classe 2 para o ano de 2022 e mesma classe considerando a meta final de 2032.

Foi considerado para o cálculo de ICE e demais análises a classe 2 de enquadramento para todas as sub-bacias de estudo da Bacia Taquari-Antas.

Tabela 4 - Metas de enquadramento na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas

Sub-Bacia	Meta intermediária (2022)	Meta final (2032)
Faxinal	3	2
Maestra	2	2
Tega	2	2

Conforme a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), as águas de classe 2 são destinadas principalmente ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de contato direto; recreação de contato primário; proteção das comunidades aquáticas e atividades de pesca.

Os pontos de amostragem nos rios das sub-bacias citadas se enquadram, através das análises de qualidade da água realizadas, como sendo classe 4 para ao menos um dos parâmetros analisados, sendo eles cianeto, clorofila- α , coliformes termotolerantes, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco. Rios enquadrados como classe 4, segundo a Conama 357/05, são destinados apenas para navegação e paisagismo.

Na Tabela 5 são observados os resultados do ICE para os rios da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Tabela 5 - Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as Sub-Bacias do Taquari-Antas

PONTO	2012	2013	2014	2022
TEGA 3	29,47	33,02	30,55	44,48
TEGA 4	25,44	28,72	47,85	35,44
TEGA 5	25,96	29,58	32,25	35,54
TEGA 6	40,1	42,77	43,38	46,45
TEGA 9	44,36	38,98	47,25	48,37
FAXINAL 3	67,08	61,54	67,39	61,47
MAESTRA 2	68,25	64,64	42,63	51,71
Legenda:	Conforme	Afastado	Não conforme	

Os pontos de análise da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas não apresentam conformidade com a meta de enquadramento proposta em 2012. Os pontos Tega 3, Tega 4 e Tega 5 apresentaram desconformidade e os demais pontos estão afastados do enquadramento proposto. É notória a melhora do ICE na sub-bacia do Tega à medida que ocorre o distanciamento da área urbanizada (Tega 6 e 9). Essa melhora pode estar associada à autodepuração do corpo da água. A autodepuração está vinculada ao restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, através de mecanismos naturais, recebendo quantidade de matéria orgânica, degradando-a e convertendo-a em produtos não nocivos e ou benéficos aquele ambiente (SPERLING, 2005; TEODORO, 2010). Schneider et al. (2021) realizaram amostragens de qualidade da água ao longo do trecho do Tega no ano de 2019 e constataram que o curso d'água apresenta pequena melhora nos resultados conforme se afasta da área mais urbana, a jusante da nascente do rio o que corrobora com os resultados obtidos acima. Finkler et al. (2015) constataram ao analisarem as bacias hidrográficas de Caxias do Sul, que os pontos localizados em área de menor pressão antrópica, distante da área urbanizada, apresentavam as menores concentrações de poluentes e maior presença de oxigênio dissolvido.

O ponto Faxinal 3 manteve durante todos os períodos analisados o afastamento do enquadramento proposto, com valores de ICE semelhantes, ficando entre 61 e 67. O ponto Maestra 2 apresentou piora nos resultados com o passar dos anos, principalmente pelos parâmetros fósforo e oxigênio dissolvido. No ano de 2022 o índice apresentou afastamento para esse ponto, com valor de ICE de 51,71 sendo que, para atingir a conformidade, o valor de ICE deve ser superior a 80. Em comparação com o período 1 o valor do

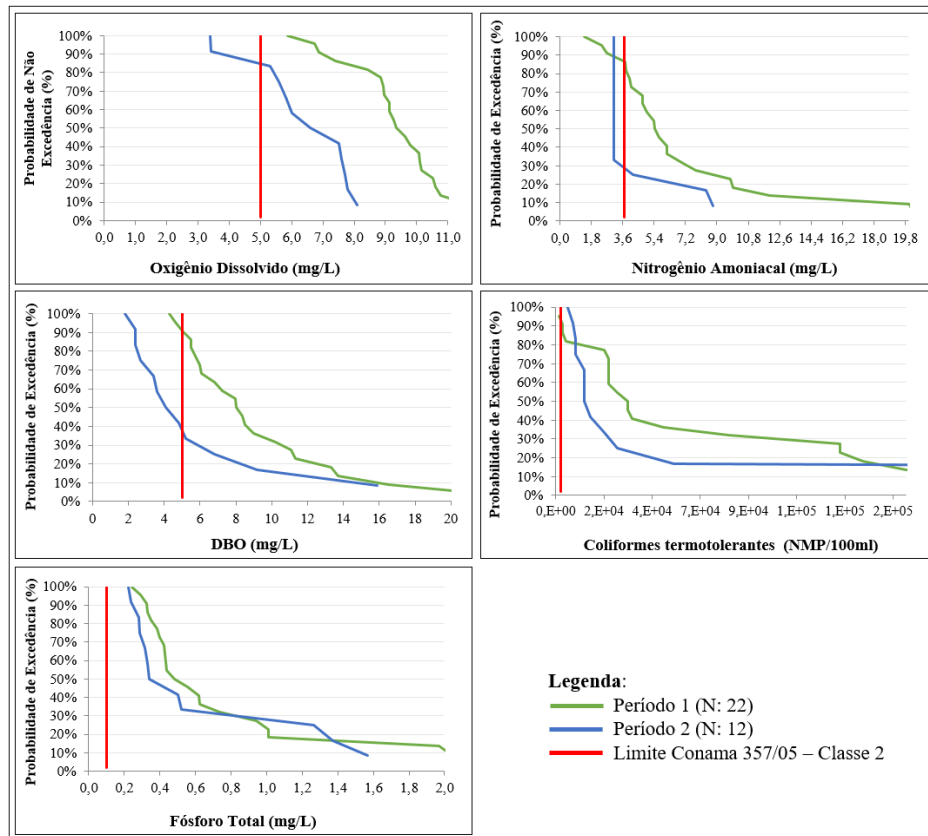
ICE apresentou queda, estando mais próximo da não conformidade.

Os parâmetros que tiveram maior impacto na ocorrência de afastamento ou desconformidade no Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) foram representados graficamente por meio de curvas probabilísticas, proporcionando uma compreensão mais clara do percentual de excedência e não excedência desses parâmetros, levando em consideração a classe desejada no enquadramento proposto no plano de bacia.

A Figura 2 apresenta os gráficos de probabilidade de excedência ou não excedência para os pontos das sub-bacias Faxinal e Maestra no período 1 (2012 a 2014) e no período 2 (2022) e a Figura 3 apresenta os dados da sub-bacia Tega para os mesmos períodos.

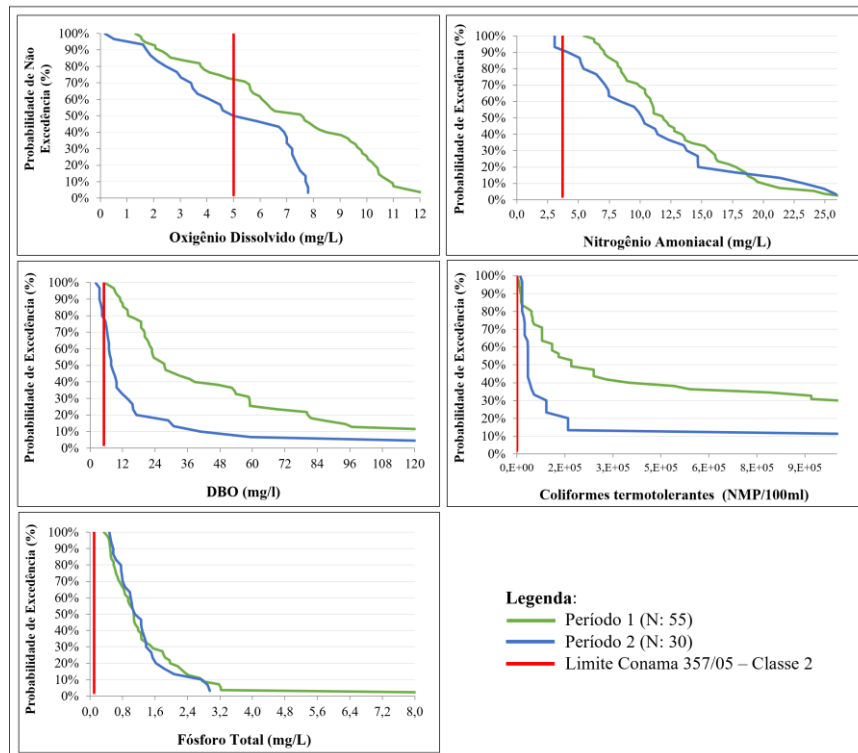
Os parâmetros que mais apresentaram desconformidade com o enquadramento, para ambos os períodos de análise e sub-bacias, foram o de coliformes termotolerantes e fósforo total. Guimarães (2013) também encontrou com frequência valores em desconformidade para os parâmetros coliformes e fósforo em seu estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Doce, entre Minas Gerais e Espírito Santo.

O parâmetro de coliformes termotolerantes no Período 1 e no Período 2 das amostras coletadas no Faxinal e Maestra apresentaram probabilidade de exceder a classe 2 da CONAMA 357 (BRASIL, 2005), em 100% das campanhas realizadas. No Tega, o Período 1 apresentou a probabilidade de excedência do limite para classe 2 de 98%, enquanto no Período 2 o parâmetro excedeu em 100% das campanhas. O parâmetro fósforo total apresentou desacordo com a classe de enquadramento proposta em 100% das campanhas realizadas nas sub-bacias que integram a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Figura 2 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros da Sub-Bacia Faxinal e Maestra



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Figura 3 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros da Sub-Bacia Tega

Os parâmetros que mais apresentaram desconformidade com o enquadramento, para ambos os períodos de análise nas sub-bacias da Bacia do Taquari-Antas, foram os coliformes termotolerantes e fósforo total.

O parâmetro de nitrogênio amoniacal e a DBO apresentaram melhora da não excedência no período 2, com apenas 27% e 36% das campanhas ultrapassando o limite permitido nas sub-bacias do Faxinal e Maestra quando comparadas ao período 1. O oxigênio dissolvido no Período 2, ficou abaixo do limite em 17% das campanhas. A sub-bacia do Tega também apresentou uma pequena melhora no período 2 para os parâmetros citados, mais ainda com percentual elevado de excedência no corpo hídrico, chegando a 93% para nitrogênio amoniacal e 80% para DBO. O OD ficou abaixo do limite em 51% das campanhas realizadas

Os parâmetros que mais apresentaram desconformidade com o enquadramento, para ambos os períodos de análise nas sub-bacias da Bacia do Taquari-Antas, foram o de coliformes termotolerantes e fósforo total.

A excedência desses parâmetros demonstra que ainda hoje está presente nesses locais a problemática quanto ao descarte dos efluentes sem o devido tratamento. As sub-bacias Tega, Faxinal e Maestra drenam grandes áreas urbanizadas e áreas industriais do município de Caxias do Sul. As áreas urbanizadas drenadas pelas sub-bacias em questão, possuem a presença de seis estações de tratamento de esgoto (ETE). Quatro

TEs iniciaram sua operação entre os anos de 1992 a 2008, e duas no ano de 2012 (SAMAE, 2023).

Apesar de existir ETEs em operação nas sub-bacias nos períodos analisados, é possível verificar que o enquadramento proposto ainda não atingiu o nível de conformidade desejado, sendo que boa parte dos parâmetros que estabelecem o desacordo com o enquadramento são de origem orgânica relacionando a existência de esgoto sanitário nos rios.

Tal fato pode estar associado à ineficiência da conexão das residências aos sistemas de tratamento esgoto do município. Segundo Rezende e Ribeiro (2022) a ociosidade das redes públicas de esgoto existentes devido à falta de orientação da população para adequação de seu sistema domiciliar é uma realidade brasileira. Teles (2015) constatou que a população de Salvador na Bahia, fazia o uso de fossas em padrões inadequadas e/ou lançavam seus efluentes em redes de drenagem mesmo existindo na cidade a rede coletora de esgoto pública.

Sub-bacias do Caí

As águas das sub-bacias Belo, Piaí e Pinhal estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Caí. Conforme apresentado na Tabela 6, realizou-se a estatística descritiva dos parâmetros para compreensão dos valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão encontrados para o Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Tabela 6 - Estatística descritivas dos pontos localizados na Bacia Hidrográfica Caí no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022)

Parâmetro	Período 1 ¹				Período 2 ²			
	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.
Cianeto (mg/L)	0,20	0,01	0,02	0,04	0,10	0,01	0,01	0,02
Clorofila- <i>a</i> (mg/m ³)	44,50	0,05	4,13	7,18	0,05	0,05	0,05	0,00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	1,60x10 ⁷	1,10x10 ³	6,42x10 ⁵	2,42x10 ⁶	5,4x10 ⁴	7,9x10 ²	1,87x10 ⁴	1,48x10 ⁴
Cromo (mg/L)	0,36	0,04	0,05	0,06	0,02	0,004	0,006	0,004
DBO (mg/L)	281,00	1,31	24,95	47,76	11,10	2,20	4,30	2,40
Fósforo (mg/L)	20,81	0,19	1,34	3,13	1,34	0,42	0,84	0,30
Níquel (mg/L)	1,44	0,016	0,09	0,21	0,06	0,008	0,01	0,01
Nitrato (mg/L)	38,91	0,17	10,21	7,16	10,47	1,18	3,56	2,24
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	21,98	1,23	8,95	5,36	9,15	3,07	5,12	1,81
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	13,34	6,39	10,10	1,40	8,20	2,90	6,10	1,54
pH	8,44	5,88	7,40	0,51	7,97	7,15	7,45	0,20
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	383,00	69,00	178,36	65,21	242,00	10,00	128,79	53,94
Turbidez (NTU)	766,00	0,00	31,71	117,07	7,30	1,40	2,96	1,45
Zinco (mg/L)	3,11	0,034	0,21	0,49	0,32	0,02	0,07	0,07

¹ Período 1 (2012 a 2014); ² Período 2 (2022) Máx. – concentrações e teores máximos encontrados; Mín. – concentrações e teores mínimos encontrados; Méd. – concentrações e teores médios encontrados; Desv. Pad. – desvio padrão das concentrações e teores encontrados.

A análise descritiva dos dados dos parâmetros analisados, demonstrou que as variáveis como clorofila- α , coliformes, cromo, DBO, níquel, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco foram as que apresentaram alteração nos resultados encontrados no Período 1 em comparação ao Período 2.

O parâmetro de coliformes termotolerantes, no Período 1, apresentou valor máximo de $1,60 \times 10^7$ NMP/100ml no ponto Pinhal 1 valor esse 6.500 vezes superior ao estabelecido para enquadramento na classe 3 da CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Outro parâmetro que excedeu o valor máximo encontrado em comparação a legislação supracitada foi a DBO e o fósforo, que chegaram a 281 mg/L e 20,81 mg/L consecutivamente, no ponto Pinhal 2.

Dentre os metais analisados, o cromo e o níquel, foram encontrados com valores máximos elevados no ponto Pinhal 2 com 0,36 mg/L e 1,44 mg/L consecutivamente. Os parâmetros cianeto, fósforo e nitrato não obtiveram grandes alterações nos valores.

No Período 2, a concentração de coliformes termotolerantes apresentou valores elevados no ponto Pinhal 2, ponto que está a montante do Pinhal 1, que foi o que apresentou altas cargas no período 1. O fósforo apresentou valor máximo encontrado no ponto Pinhal 1 chegando a 1,34 mg/L. A média ficou em 0,84 mg/L, valor ainda alto para enquadramento na Classe 3 da CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que estabelece limite de 0,15 mg/L de fósforo para ambientes lóticos. A DBO no período 2 apresentou média em 4,30 mg/l o que permitiria o corpo hídrico ser enquadrado como classe 2 segundo a

resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) que prevê para essa classe valores não superiores a 5 mg/L. Dentre os metais analisados, apenas o níquel apresentou valor máximo elevado, chegando a 0,06 mg/L no ponto Piaí 4.

A fim de identificar se existe diferença significativa entre as médias de todas as variáveis do período 1 e 2 foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. O teste apresentou significância de 0,161 sendo o valor maior que 0,05 o que leva a aceitar a hipótese nula de que não existe diferença significativa entre os períodos 1 e 2 de estudo.

As Resoluções CRH nº 50 de 2008 (RIO GRANDE DO SUL, 2008) e CRH nº 53 de 2009 (RIO GRANDE DO SUL, 2009), estabeleceram as metas de enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Caí, ficando determinando, num horizonte de 15 anos o prazo para atendimento da meta final classificando assim os rios como classe 2 para sub-bacia do Belo e classe 3 para Piaí e Pinhal, sendo o ano de 2024 o prazo final para atingir a meta.

Tabela 6 - Metas de enquadramento na Bacia Hidrográfica Caí

Sub-Bacia	Meta final (2024)
Belo	2
Piaí	3
Pinhal	3

Os rios das sub-bacias citadas se enquadram, através das análises de qualidade da água realizadas, como sendo classe 4, destinada apenas à navegação e paisagismo. Abaixo observa-se a Tabela 6 com os resultados do ICE para os Rios da Bacia Hidrográfica do Caí no período 1 e período 2 de análise.

Tabela 7 - Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as Sub-Bacias do Caí

PONTO	2012	2013	2014	2022
BELO 1	58,9	58,49	45,11	52,2
PIAI 4	66,3	65,96	68,51	72,03
PINHAL 1	59,18	53,22	73,99	59,67
PINHAL 2	40,19	43,25	62	57,62
Legenda:	Conforme	Afastado	Não conforme	

Os pontos da Bacia Hidrográfica do Caí estão em sua maioria afastados da meta de enquadramento proposta em 2009. No Período 1, o ponto Pinhal 2 da Sub-Bacia Pinhal, apresentou desconformidade ao enquadramento.

Os parâmetros que mais contribuíram para o ICE apresentar afastamento ou desconformidade foram inseridos em curvas probabilísticas para se compreender o percentual de excedência ou não excedência desses, com a Classe que se quer obter, conforme Figuras 4, 5 e 6.

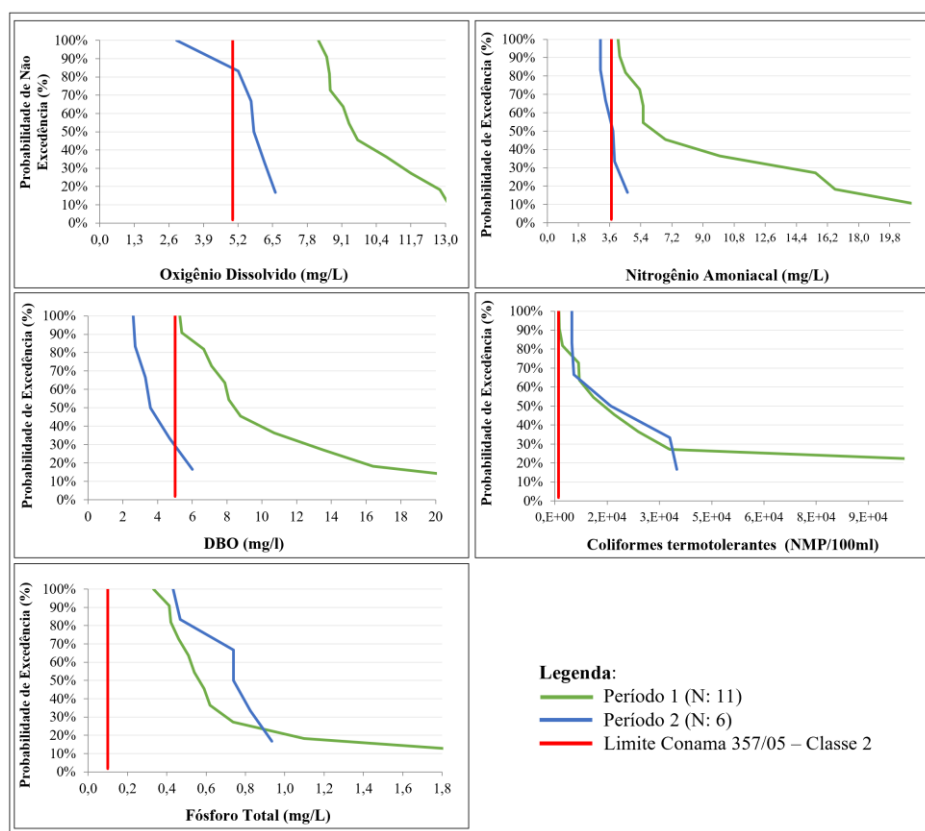
Os parâmetros de coliformes termotolerantes e fósforo, apresentam-se 100% em desacordo com a classe de enquadramento estabelecida para todos os períodos e sub-bacias, com exceção a sub-bacia do Pinhal que no segundo período a frequência percentual em desacordo passou para 83% para coliformes, apresentando uma pequena melhora quando comparada com o período anterior.

A DBO no período 2 apresentou melhora nos resultados, onde nas sub-bacias os percentuais de excedência não ultrapassam o limite de enquadramento ou apresentaram 30% de excedência do valor como no caso da sub-bacia do Belo. Nessa sub-bacia a DBO apresentou melhora no segundo período igualmente ao nitrogênio amoniacal. O OD nessa sub-bacia, no Período 2 ficou abaixo do limite em 15% campanhas.

Na sub-bacia do Piaí o OD ficou abaixo do limite mínimo da Classe 3, em 80% das campanhas realizadas.

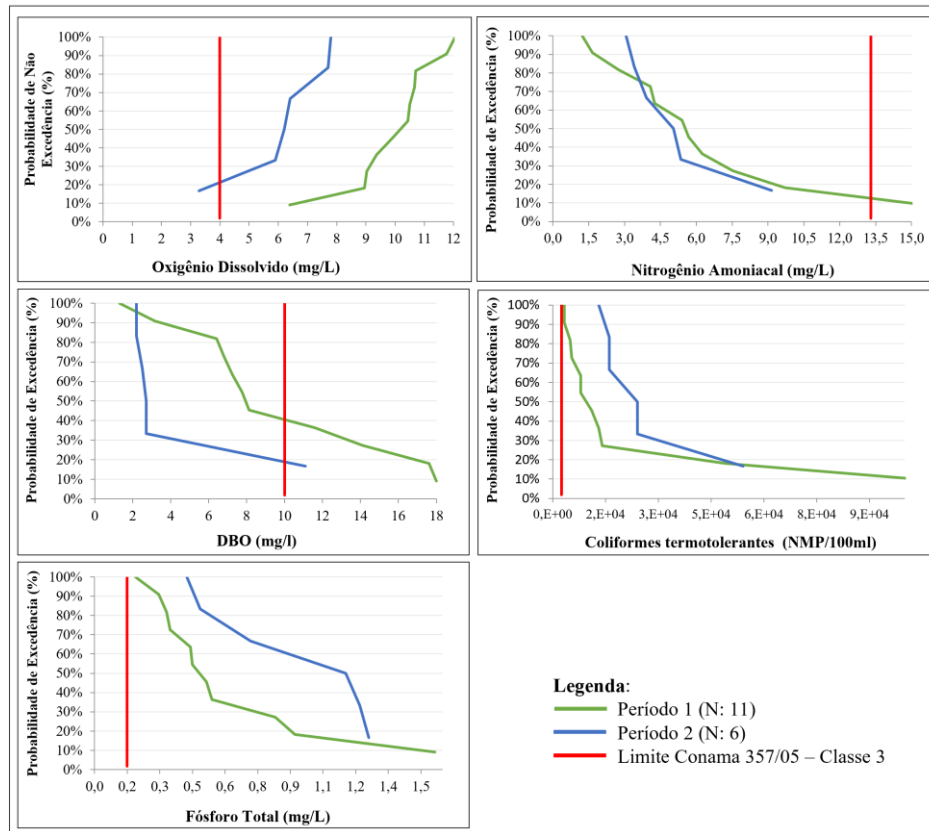
Os pontos localizados nas sub-bacias da bacia hidrográfica do Cai, estão na porção final da área urbana do município de Caxias do Sul. O ponto do Belo 1 e o Pinhal 3 estão à montante da ETE das sub-bacias e os pontos Piaí 4 e Pinhal 1 se encontram à jusante das ETE.

A partir do cálculo do ICE, das curvas obtidas e da análise probabilística efetuada no presente estudo, eventuais ações para melhora na qualidade dos recursos hídricos das sub-bacias em questão devem principiar pela revisão e readequação do sistema de tratamento de esgotos gerados no município de Caxias do Sul, visando a diminuição da carga de nutrientes ao ambiente aquático, carga identificada principalmente pela incoerência dos resultados aos parâmetros OD, coliformes termotolerantes e fósforo total. No ano de 2022, o OD apresentou os piores resultados em ambas as Bacias Hidrográficas de estudo no mês de maio e parâmetros como nitrogênio e DBO com piores resultados no mês de novembro.



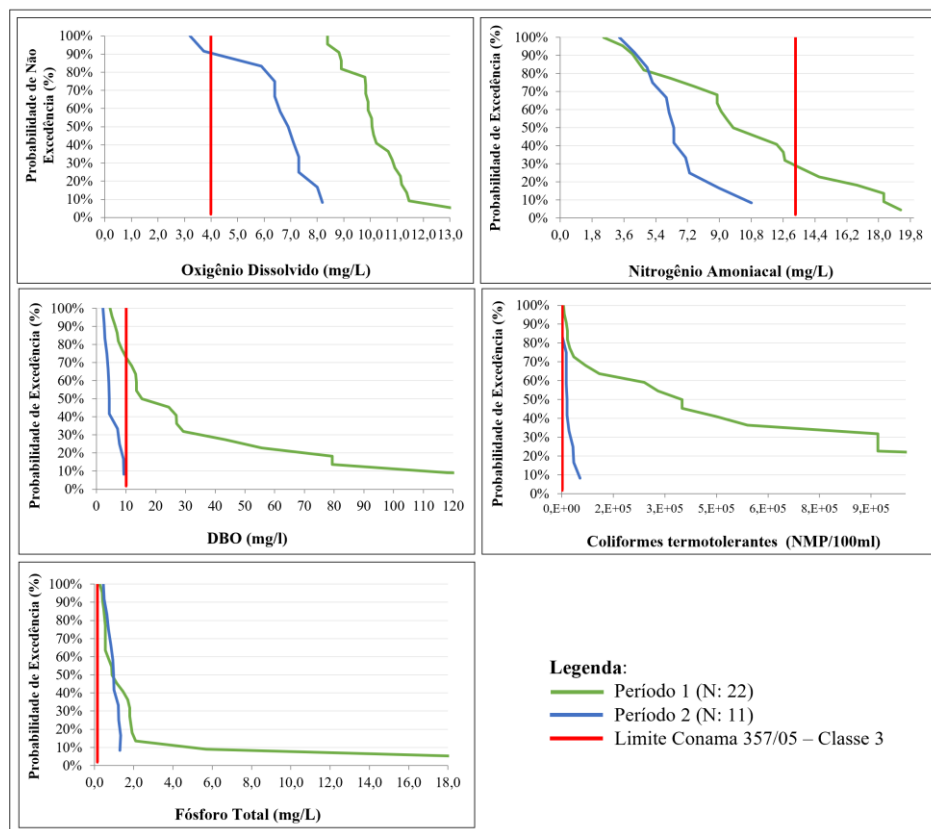
Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Figura 4 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros da Sub-Bacia Belo



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 – 2022

Figura 5 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros da Sub-Bacia Piaí



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Figura 6 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros da Sub-Bacia Pinhal

Análise Integrada da Eficiência do Enquadramento na Região

Todas as sub-bacias analisadas apresentaram desconformidade ou afastamento da meta proposta pelos comitês de bacias. Da mesma forma que estudo realizada por Martins et al. (2023), os parâmetros que mais contribuíram para tal resultado, foram fósforo, coliformes e DBO, sendo esses associados diretamente à emissão de esgoto sanitário nos corpos d'água.

Conforme Bittencourt, Fernandes e Gallego (2019), o Brasil em geral apresenta dificuldades de implementar e efetivar o enquadramento dos rios através dos seus Comitês de Bacias. A implantação do enquadramento ocorre de forma desigual entre os estados brasileiros, onde nem sempre é levado em consideração o que a legislação prevê, como a elaboração de cenários e metas progressivas (Bittencourt, Fernandes e GALLEGO, 2019).

Os dados do ICE demonstram o quão longe os rios estão da classe de enquadramento proposta nos planos de bacia. Atualmente, os rios de Caxias do Sul, inseridos na bacia hidrográfica Taquari-Antas e na bacia hidrográfica do Caí são classificados como classe 4 segundo a CONAMA 357 (BRASIL, 2005), e possuem o prazo de alcançar a classe 2 até o ano de 2032 para o Taquari-Antas, conforme a resolução CRH nº 121 (RIO GRANDE DO SUL, 2012), e classe 2 e 3 em 2023, para a bacia do Caí, conforme as resoluções CRH nº 50 (RIO GRANDE DO SUL, 2008) e CRH nº 53 (RIO GRANDE DO SUL, 2009).

O não atingimento das metas propostas pelos planos, após passados 10 anos levanta o questionamento quanto à eficácia dos enquadramentos propostos pelos usuários das águas nos comitês de bacias. Tais dados suscitam dúvidas quanto à meta de enquadramento definida que, conforme Bittencourt, Fernandes e Gallego (2019), não pode ser apenas um documento formal que acaba não garantindo a qualidade do rio.

Pessoa, Azevedo e Ribeiro (2018), constataram que o enquadramento proposto na bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna não contou com diagnóstico e prognóstico da qualidade das águas, com a participação social e não gerou pacto social para implementação dele. Igualmente nas Bacias Caí e Taquari-Antas não engajamento da população e agentes públicos e privados para se chegar ao que foi proposto. Dessa forma, o enquadramento proposto não pode garantir os usos reais e pretendidos pela população e ainda não se sabe se as metas criadas são realistas e se há acompanhamento de ações para melhoria do corpo hídrico (Pessoa, Azevedo e Ribeiro, 2018).

O processo de enquadramento deve considerar aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos para que assim sejam criadas metas de qualidade da água factíveis de serem alcançadas no horizonte planejado (Costa e Conejo, 2009). Conforme Costa e Conejo (2009) se forem criadas metas ambiciosas os custos podem se tornar altos e assim dificilmente se alcançará o proposto, entretanto metas muito modestas podem acarretar a degradação da água, tornando ainda mais difícil sua recuperação. Por isso o processo de enquadramento deve ser periódico, para que possam ser ajustadas as metas de acordo com o cenário atual e pelos resultados dos monitoramentos dos parâmetros realizados nas bacias (Costa e Conejo, 2009; Padovesi-Fonseca e Faria, 2022).

Isto traz a necessidade da revisão dos planos de bacia a fim de analisar os enquadramentos propostos e reavaliar as classes de uso que a população faz hoje, juntamente com o aumento dos monitoramentos de qualidade da água (Padovesi-Fonseca e Faria, 2022; Sobreira Silva, 2022). Além disso, a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas não possui a fase C, que objetiva os planos de ação para melhoria no enquadramento dos planos de bacia. O comitê da Bacia Hidrográfica do Caí já possui essa fase elaborada, entretanto não possui agência para operacionalizar.

Conforme Hinata et al. (2023), o ICE não substitui uma avaliação detalhada da qualidade da água, mas auxilia na avaliação integrada e holística dos recursos hídricos. Ressalta-se ainda que as bacias de estudo ultrapassaram a meta intermediária ou estão próximas a meta final de enquadramento.

Conclusões

A utilização de instrumentos como o cálculo do ICE e o emprego das curvas probabilísticas de incompatibilidade da qualidade da água demonstram ser ferramentas úteis para a gestão dos dados de programas de monitoramento. Além disso, um monitoramento regular auxilia no entendimento do comportamento dos recursos hídricos existentes, a fim de auxiliar o poder público a elencar prioridades de programas, projetos e investimentos para melhoria no saneamento e uso do solo. Também se faz necessária a discussão sobre a gestão das bacias, onde possa ser elaborada, junto as metas de enquadramento, diretrizes a serem seguidas para que se possa atingir o proposto.

Com vistas à redução da probabilidade com conflitos para com o enquadramento legal,

através da análise da excedência de diversos fatores que contribuem para uma má qualidade dos rios, recomenda-se o aprimoramento e a avaliação da efetividade do processo de tratamento de esgoto do município, tendo em vista que, ainda há presente grande quantidade de matéria orgânica doméstica nesses ambientes aquáticos. Além disso, a fiscalização e controle do despejo de efluentes industriais no recurso hídrico também são necessários para evitar contaminação por diversos tipos de metais e outros.

Ressalta-se que este trabalho se limitou a identificar a conformidade ou não conformidade ao enquadramento proposto nos planos de bacia, sendo alvo de trabalhos futuros o estudo das causas que levam a estas inconformidades.

Sugere-se ainda que futuros planos de monitoramento ou estudos da qualidade da água dos recursos hídricos incluam a análise das curvas de probabilidade para obtenção do enquadramento proposto. Essa análise pode contribuir na identificação das fontes de poluentes existentes no corpo hídrico, auxiliando na tomada de decisão de ações prioritárias para a busca da melhora na qualidade da água.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR nº 9.897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, jun.1987.
- Amaro, C. A., 2009. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Poli-USP.
- Amaro, C. A.; Porto, M. F. do A. Proposta De Um Índice para Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. Anais [...]. Campo Grande: ABRH, 2009. p. 1-17. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documentos/7503/ice-amaro-2009.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/gestao-da-agua>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição, 2017.
- Bigolin, M.; Schneider, V. E.; Somenzi, V.; Bortolin, T. A.; Gracioli, O. D.; Ribeiro, H. G.; Mendes, L. A. SIA – Sistema de Informação Ambiental: Ferramenta para monitoramento e apoio a decisão em Recursos Hídricos para Empreendimentos Hidrelétricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. Anais [...]. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-7. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/b07d3341d0511ff96d6df165b3246211_2e4019d3b0e710ce4d8fee48343ba8a2.pdf. Acesso em: 23 maio 2023.
- Bitencourt, C.; Fernandes, C.; Gallego, C. Panorama do enquadramento no Brasil: uma reflexão crítica. Revista de Gestão de Água da América Latina, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 9-9, 11 jul. 2019. Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v16e9>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=210&SUMARIO=5346>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 22 jun. 2022.
- BRASIL, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 357, de 17 de março. Disponível: <http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705>.
- Bortolin, T. A.; Guerra, G. S.; Peresin, D.; Mendes, L. D.; Schneider, V. E. Avaliação do índice de conformidade ao enquadramento em um trecho da bacia do rio São Marcos. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013. Disponível: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/1b7a5c287349bf540536603497a61983_dd75e59705799455d2f6f7ff4b071c98.pdf. Acesso: 15 dez. 2022.

- Carneiro, F. M. F.; Fraga, M. de S.; Reis, G. B.; Tozi, T.; Silva, D. D. Proposta de enquadramento de corpos hídricos em classes de uso na bacia hidrográfica do rio Piranga utilizando geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2491-2502, 29 jul. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2491-2502>.
- CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index 1.0 User's Manual. Winnipeg. Disponível em: http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtftcsh_t_e.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB., 2016. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: CETESB; ANA.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB., 2020. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Apêndice C - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.
- Costa, M. P. da; Conejo, J. G. L. A Implementação do Enquadramento dos Corpos d'água em Bacias Hidrográficas: Conceitos e Procedimentos. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, XVIII., 2009, Campo Grande. Anais [...]. Campo Grande/MS: SBRH, 2009. p. 1-20. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/93c66dcf0a338a9675c7b7b00b7dc1b0_deff93153c1ae6523493dd7e57d6a078.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023.
- Costa, P. da; Barroso, G. R.; Oliveira, K. L. de; Starling, M. C. V. M.; Oliveira, S. Dinâmica espaço-temporal da qualidade das águas superficiais de dois grandes reservatórios de usinas hidrelétricas brasileiras. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 27, n. 5, p. 893-907, out. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220210233>.
- Cunha, D. G. F.; Calijuri, M. do C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos - estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 337-346, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000400006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/VZN7PkDBp6JtjDx3cKQqx7H/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- Derisio, J. C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 228 p. ISBN: 9788579752735.
- Fepam, Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Relatórios da Qualidade da Água. Fepam, 2024. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/relatorios-da-qualidade-da-agua>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- Finkler, N. R.; Peresin, D.; Cocconi, J.; Bortolin, T. A.; Rech, A.; Schneider, V. E. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 782-792, 28 out. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/khyRgGGTH53kJ3gYn5w8SdL/?lang=pt>. Acesso em: 07 maio 2023.
- Guimarães, B. O. Análise probabilística de incompatibilidade entre a qualidade da água de rios do estado do Espírito Santo e os padrões de enquadramento legal. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/6194>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- Guimarães, B. O.; Reis, J. A. T. dos; Mendonça, A. S. F.; Akabassi, L. Análise probabilística de parâmetros de qualidade da água para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 807-815, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016143190>.
- Hinata, S.; Kaliski, A.; Wolff, C.; Scottá, F.; Schuster, R.; Souza, W.; Cardone, L. Situação de corpos hídricos em bacias hidrográficas do

- Rio Grande do Sul sob a perspectiva do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). *Revista de Gestão de Água da América Latina*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 23, 13 set. 2023. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v20e23>. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/255/bd575850d9bc30aa3a816332464791b6_fb7f3feef84a7166e441318c63cb2785.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.
- Jasp. Software estatístico JASP. 2023. Elaborado pela Universidade de Amsterdã. Disponível em: <https://jasp-stats.org/>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- Lumb, A., Halliwell, D., Sharma, T., 2006. Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: a case of the Mackenzie River Basin, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*. Disponível: <https://www.environmental-expert.com/Files/6063/articles/8597/1.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.
- Martins, R. A., de Castro, A. C. L., Lourenço, C. B., Soares, L. S., & Mouchrek, A. N. (2023). Qualidade da Água do Baixo Curso do Rio Itapecuru e as Implicações na Saúde Humana e Usos Múltiplos. *Revista Foco*, 16(9), e1839. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n9-111>
- Okumura, A. T. R.; Silva, A. G. da.; Silva, N. R. S da.; Lopes, E. R. do N.; Bifano, R. B. A.; Quinelato, R. V. Determinação da Qualidade da Água de um Rio Tropical sob a perspectiva do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 11 jun. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243982>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- Oliveira, I. da S.; Panta, L. M. L. T.; Barbosa, I. M. B. R.; Silva, S. R. da. Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Juczinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1575-1584, 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1575-1584>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234614/30748>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- Oliveira, M. de.; Rocha, C. H. B.; Velez, J. G. de A.; Souza, L. do V. Qualidade da Água e Índice de Conformidade ao Enquadramento da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora (MG), Brasil. In: *Simpósio De Recursos Hídricos Da Bacia Do Rio Paraíba Do Sul*, 3, 2018, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora -MG: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018. p. 1-8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/76/C8001.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2022.
- Padovesi-Fonseca, C.; Faria, R. S. de. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no Brasil e Europa. *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, [S.L.], v. 3, 2022. DOI: 10.59824/rmrh.v3i.221. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/221>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- Pessoa, G. de M.; Azevedo, T. dos S.; Ribeiro, C. B. de M. ESTUDO DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS PRETO E PARAIBUNA. In: *SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO PARAÍBA DO SUL*, 3., 2018, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora: SRHPS, 2018. p. 1-10. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/76/B1003.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2023.
- Pinto, C. C.; Soares, A. L. C.; Melo, L. D. V.; Oliveira, S. M. A. C. Análise dos Valores do Índice de Conformidade ao Enquadramento no Baixo Rio das Velhas, situado na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. In: *I Simpósio Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco*, 1., 2016, Juazeiro. Anais [...]. Juazeiro: SBHSE, 2016. p. 2-9. Disponível em: <https://cdn.agenciapexivivo.org.br/media/2019/06/An%C3%A1lise-dos-valores-do-%C3%ADndice-de-conformidade-ao-enquadramento-no-Baixo-Rio-das-Velhas-situado-na-BH-do-SF.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- Reis, G. B.; Abreu, V. de O.; Fraga, M. de S.; Tozi, T.; Silva, D. D. da. Proposta de Enquadramento de Corpos Hídricos em Classes de Uso na Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio (MG). *Nativa*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 189–196, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i2.6333. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6333>. Acesso em: 9 jul. 2023.
- Rezende, E. N.; Ribeiro, P. de F. R. V. A Obrigação de Instalação Doméstica de Rede de Esgoto Frente ao Novo Marco do Saneamento Básico:

- Estudo Sobre as Alterações Promovidas pela Lei 14.026/2020. Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade, Encontro Virtual, v. 1, n. 8, p. 76-96, jan. 2022. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/revistaDireitoUrbanistico/article/view/8816>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- RIO GRANDE DO SUL (Estado). Constituição (1994). Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1 jan. 1995. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA). (org.). Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul. 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 50, de 11 de novembro de 2008. Aprova o enquadramento das águas das bacias hidrográficas dos rios Caí, Pardo, Tramandaí e do Lago Guaíba. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 53, de 20 de abril de 2009. A Aprova os prazos máximos para atingir a meta final e a meta intermediária do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Caí. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 121, de 12 de dezembro de 2012. Aprova o Enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Porto Alegre, Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22162317-resolucao-crh-121-2012-aprova-enquadramento-aguas-superficiais-bacia-taquari-antas-07-01-1.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- RIO GRANDE DO SUL. Resolução CRH nº 141, de 21 de março de 2014. Institui o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul - PERH/RS. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22164454-resolucao-crh-141-2014-institui-plano-estadual-recursos-hidricos-estado-rs-28-03.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- Rocha, C. H. B.; Duarte, R. L.; Matoso, Ra. O. de C.; Souza, L. do V.; Silveira, F. J. da; Machado, M. M. de M. Vulnerabilidades socioambientais associadas à implantação de rodovias às margens do reservatório de abastecimento público da Represa de São Pedro, Juiz de Fora, Minas Gerais. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-27, 14 mar. 2022. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/geas.v11i1.19805>.
- Sabino, C. V. S.; Lage, L. V.; Noronha, C. V. de. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 969-983, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017158455>.
- Samae. - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Esgoto. 2022. Disponível em: <https://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10043>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- Santos, S.; Gastaldini, M. do C.; Pivetta, G.; Schmidt Filho, O. Integração das curvas de probabilidade e carga máxima total diária (CMTD) na gestão da qualidade da água de uma bacia urbana. Sociedade & Natureza, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 1-17, out. 2019. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v30n3-2018-1>.
- Santos, J. M. B.; Silva, I. R.; Gomes, Maria H. R.; Pereira, R. de O. Variação do IQA e ICE no Ribeirão Espírito Santo-MG. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 460, 20 abr. 2020. Anima Educação. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e12020460-482>.
- Schneider, V. E.; Pasquali, A.; Brasil, C. R.; Vanin, R. R.; Heineck, T. de C. Avaliação da qualidade da água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tega considerando a influência da urbanização. Gestão e Tecnologias Para o Meio Ambiente: visões e ações interdisciplinares. Volume 2. Recursos Hídricos e Saneamento, Caxias do Sul, v. 2, p. 182-191, 12 nov. 2021. EDUCS. <http://dx.doi.org/10.18226/9786558071167>.
- SIA. Sistema de Informação Ambiental. Universidade de Caxias do Sul. 2023. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/>. Acesso em: 05 fev. 2023. SIA. Sistema de Informação Ambiental. Universidade de Caxias

- do Sul. 2023. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- Silva, M. T. L. Adaptação e Aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) de Cursos D'água. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- Sobreira Silva, F.; Vasco, G.; Beltrão Rameh BARBOSA, I. M.; Silva Tavares, B.; Araújo Ferreira, A. Avaliação da Proposta de Enquadramento por Meio do ICE em Reservatórios da Bacia do Ipojuca, Pernambuco, Brasil. Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 348–364, 2022. DOI: 10.17564/2316-3798.2022v9n1p348-364. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/saude/article/view/11117>. Acesso em: 9 jul. 2023.
- Sodré, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. Artigos Temáticos do Aqqua, Brasília, v. 1, n. 1, p. 9-16, jan. 2012. Disponível em: <https://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.
- Teles, A. Ligações domiciliares de esgoto e sua importância ambiental. 2015. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14946/1/MD_GAMUNI_I_2014_3.pdf. Acesso em 11 jul. 2023.
- Teodoro, A.; Ide, C. N.; Ribeiro, M. L.; Broch, S. A. O.; Silva, J. B. da. Implementação do conceito Capacidade de Diluição de Efluentes no modelo de qualidade da água QUAL-UFMG: estudo de caso no rio Taquarizinho (MS). Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 275-288, set. 2013. FapUNIFEP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000300010>.
- Tucci, C. E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s010>
- Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG/ Departamento de Engenharia Sanitária, 1996. 243 p. ISBN: 8570411146.
- Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.