

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL UTILIZANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Daniela Menegat

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

Taison Anderson Bortolin

Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, RS, Brasil
tabortol@ucs.br

Vania Elisabete Schneider

Universidade Católica de Trujillo, Peru
Universidade Federal de Sergipe, SE, Brasil
veschnei@ucs.br

Tiago Panizzon

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

RESUMO

A compreensão da evolução da qualidade da água no tempo e espaço é ferramenta indispensável em um mundo dependente de água em boa qualidade e quantidade. Nesse sentido, o estudo objetivou analisar a qualidade da água de rios urbanos do município de Caxias do Sul-RS, utilizando técnicas de estatística multivariada. Foram analisados 12 pontos distribuídos nas sub-bacias Faxinal, Maestra, Belo, Piaí e Pinhal, inseridos na área urbana do município. Para identificação da qualidade da água, foram analisados 21 parâmetros físicos, químicos e biológicos coletados em dois períodos (2012 a 2014 e 2022). Com base na Análise de Componentes Principais (ACP) foi possível identificar três componentes que explicam juntos 63,1% da variabilidade dos dados. A análise de agrupamentos (AA) separou os períodos analisados em dois grupos. Um dos grupos formados contém todos os pontos presentes na sub-bacia do Tega, sendo essa a bacia mais urbanizada do município. A ACP e AA apontaram que as maiores fontes de degradação da qualidade da água do município são provenientes da descarga de efluentes domésticos e industrial nos corpos hídricos. Tal resultado demonstra a importância de estudos desse caráter a fim de que auxiliem o poder público na gestão das águas do seu território.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Análise de componentes principais. Análise de agrupamentos.

ANALYSIS OF WATER QUALITY IN URBAN RIVERS IN THE MUNICIPALITY OF CAXIAS DO SUL, STATE OF RIO GRANDE DO SUL, USING MULTIVARIATE STATISTICS

ABSTRACT

Understanding the evolution of water quality in time and space is an indispensable tool in a world dependent on water in good quality and quantity. In this sense, the study aimed to analyze the water quality in urban rivers in the municipality of Caxias do Sul, using multivariate statistical techniques. Twelve points distributed in the Faxinal, Maestra, Belo, Piaí, and Pinhal sub-basins, in the urban area of the municipality, were analyzed. For water quality analysis, twenty-one physical, chemical, and biological parameters collected in two periods (2012 to 2014 and 2022) were analyzed. The Principal Components Analysis (PCA) identified three components that together explained 63.1% of the data variability. Cluster analysis (AA) separated the analyzed periods into two groups. One of the groups was formed by all the points present in the Tega sub-basin, which is the most urbanized basin in the municipality. The PCA and AA pointed out that the main sources of water quality degradation in the municipality come from the discharge of domestic and industrial effluents into water bodies. This result demonstrates the importance of studies of this nature to support public power in managing water in their territory.

Keywords: Environmental impacts. Principal component analysis. Cluster analysis.

INTRODUÇÃO

O processo de degradação de corpos hídricos é um problema antigo que acaba limitando a utilização desse recurso para diversas atividades, incluindo as mais essenciais como o abastecimento humano, a dessedentação animal, a produção de alimentos, dentre outros (OLIVEIRA et al., 2020). As ações humanas têm desempenhado papel significativo para essa degradação, resultando em alterações notáveis na qualidade da água e na biodiversidade dos ecossistemas aquáticos, através da geração de efluentes urbanos de origem doméstica e industrial, com lançamento muitas vezes sem tratamento ou acima da carga máxima que os corpos d'água podem suportar (TUCCI, 2008; OKUMURA et al., 2020). A escassez da água, tanto em quantidade como em qualidade, pode ter consequências à saúde pública, com a deterioração da qualidade de vida e do desenvolvimento econômico e social (TUNDISI, 2008).

Diante da preocupação quanto à qualidade da água, o Brasil conta com diversas legislações que visam garantir quantidade e qualidade do recurso hídrico para os diversos usos da população. Em 1997, foi estabelecida a lei nº 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A referida 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.

A qualidade da água pode ser representada por diferentes parâmetros que refletem as suas principais características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005). A resolução nº 357, de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), traz a definição e estabelece os padrões da qualidade da água de acordo com a finalidade do seu uso (BRASIL, 2005). O monitoramento dos recursos hídricos, visando compreender a sua qualidade, se torna ferramenta fundamental para a garantia da preservação da vida na terra. Esse monitoramento deve ser realizado ao longo do tempo e espaço fornecendo séries temporais de dados e permitindo a compreensão da evolução da qualidade da água e o comportamento de variáveis, a fim de auxiliar no planejamento de estratégias de gestão para com os recursos hídricos (DERESIO, 2012; TAVARES, 2014).

Conforme Finkler et al. (2015), medir variados parâmetros de poluentes em diferentes pontos, com frequências periódicas, é o método mais usual de avaliação da qualidade da água. Entretanto, obtém-se como resultado uma matriz complexa, composta de diversos parâmetros com grandezas distintas, o que torna difícil a leitura e a interpretação (FINKLER et al., 2015).

Dessa forma, a análise estatística multivariada se torna uma ferramenta importante, pois permite analisar e manipular dados que contenham muitas variáveis. Conforme Guedes et al. (2012), a técnica de estatística de componentes principais (ACP) reorganiza um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto, que se denomina componentes principais. O primeiro componente calculado é o que explica o máximo de variabilidade dos dados, o segundo componente principal explica o restante dos dados, sem ter correlação com o primeiro componente calculado e assim sucessivamente (GUEDES et al., 2012).

A análise de agrupamentos (AA) é uma técnica de estatística multivariada que vem sendo amplamente utilizada nos estudos de qualidade da água com o intuito de auxiliar na identificação das fontes de poluição (CENTENO et al., 2016). Essa análise verifica a relação entre os pontos de estudo, separando-os em grupos com base nas variáveis que possuem (RODRIGUES JUNIOR et al., 2022).

Estudos sobre estatística multivariada, utilizando a técnica da Análise de Componentes Principais (ACP), vêm sendo amplamente utilizados para apoiar a gestão de recursos hídricos (FINKLER et al., 2015; GOMES e CAVALCANTE, 2017; BIFANO et al., 2020; FRAGA et al., 2021; QUINELATO et al., 2021; KHAN et al., 2023). Juntamente com a análise da ACP, a análise de agrupamentos permite organizar e compreender grupos similares, auxiliando no entendimento e na gestão dos cursos d'água (CENTENO et al., 2016; GOMES e CAVALCANTE, 2017; PASTRO et al., 2020; CIDREIRA-NETO et al., 2022; RODRIGUES JUNIOR et al., 2022; SHANMUGASUNDHARAM et al., 2023).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a qualidade das águas superficiais de seis sub-bacias da área urbana do município de Caxias do Sul-RS, a partir de dados de monitoramento das características físicas, químicas e biológicas da água por meio de estatística multivariada.

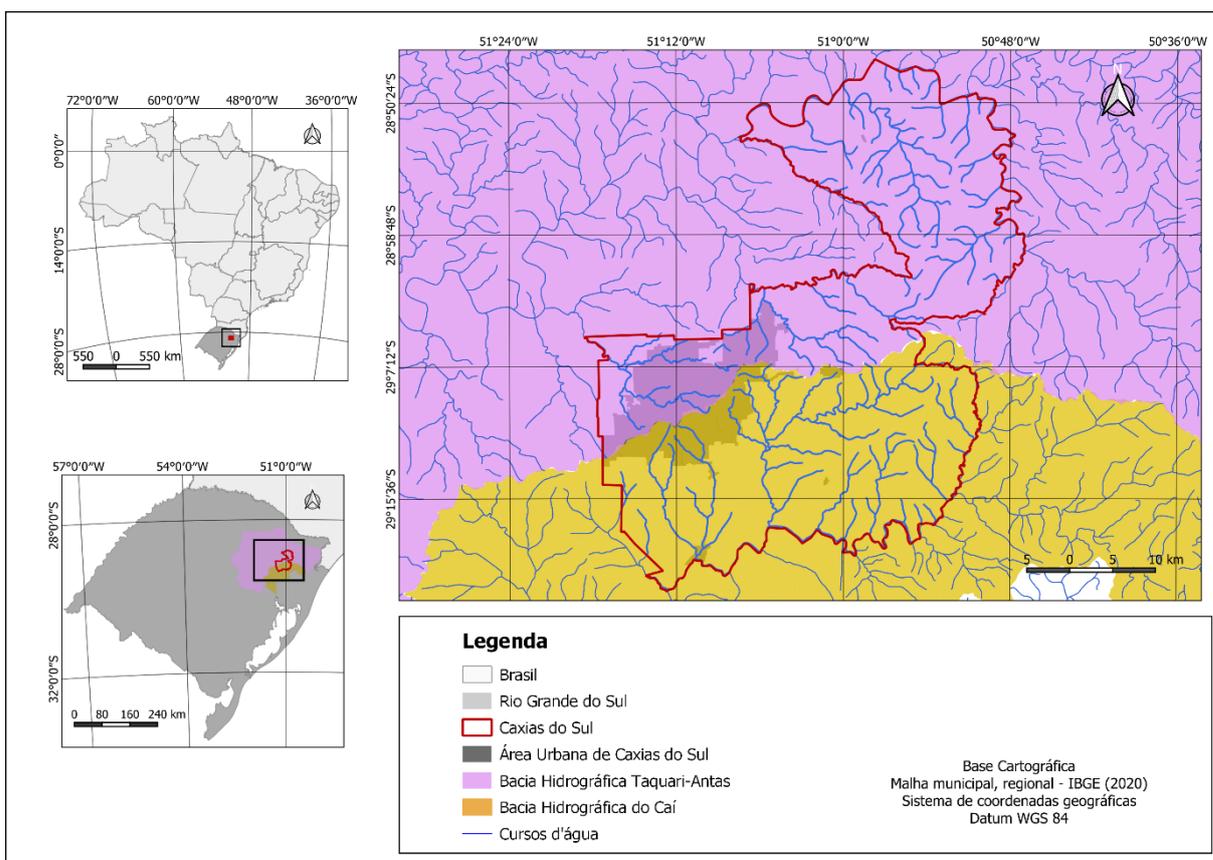
METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Caxias do Sul localiza-se no estado do Rio Grande do Sul, ocupando área de 1.652,32 km² (IBGE, 2023), conforme apresentado na Figura 1.

A população de Caxias do Sul, em 2010, era de 435.564 pessoas e os dados do Censo Populacional de 2022 apontam que hoje têm-se 463.338 pessoas (IBGE, 2023), um crescimento de 6% na população em 12 anos. Conforme SAMAE (2022), o município de estudo conta com dez estações de tratamento de esgoto (ETE) em operação, com capacidade de beneficiar 497 mil habitantes.

Figura 1 - Mapa de localização do município de Caxias do Sul e suas bacias hidrográficas



Fonte: Os autores, 2023.

Caxias do Sul se encontra na região hidrográfica do Guaíba, no divisor de águas da bacia hidrográfica do Caí – G 030, e bacia hidrográfica Taquari-Antas – G 040, (RIO GRANDE DO SUL, 2022). Cada uma dessas bacias é dividida em sub-bacias importantes que cruzam o limite municipal. As sub-bacias que drenam para o Caí dentro da área urbana são a sub-bacia do Belo, Piaí e Pinhal e as que drenam para a Taquari Antas são a sub-bacia do Faxinal, Maestra e Tega.

Os comitês das duas bacias hidrográficas definiram as metas de enquadramento para suas águas com base na Conama 357/05 (BRASIL, 2005). Para a bacia hidrográfica Taquari-Antas, o enquadramento foi definido pela resolução nº 121 de 12 de dezembro de 2012 (RIO GRANDE DO SUL, 2012) para horizontes de dez e 20 anos, considerando para a sub-bacia do Faxinal a proposta de classe 3 para dez anos e classe 2 para 20 anos. As sub-bacias do Maestra e Tega possuem a proposta de enquadramento para classe 2 considerando o horizonte de dez e 20 anos.

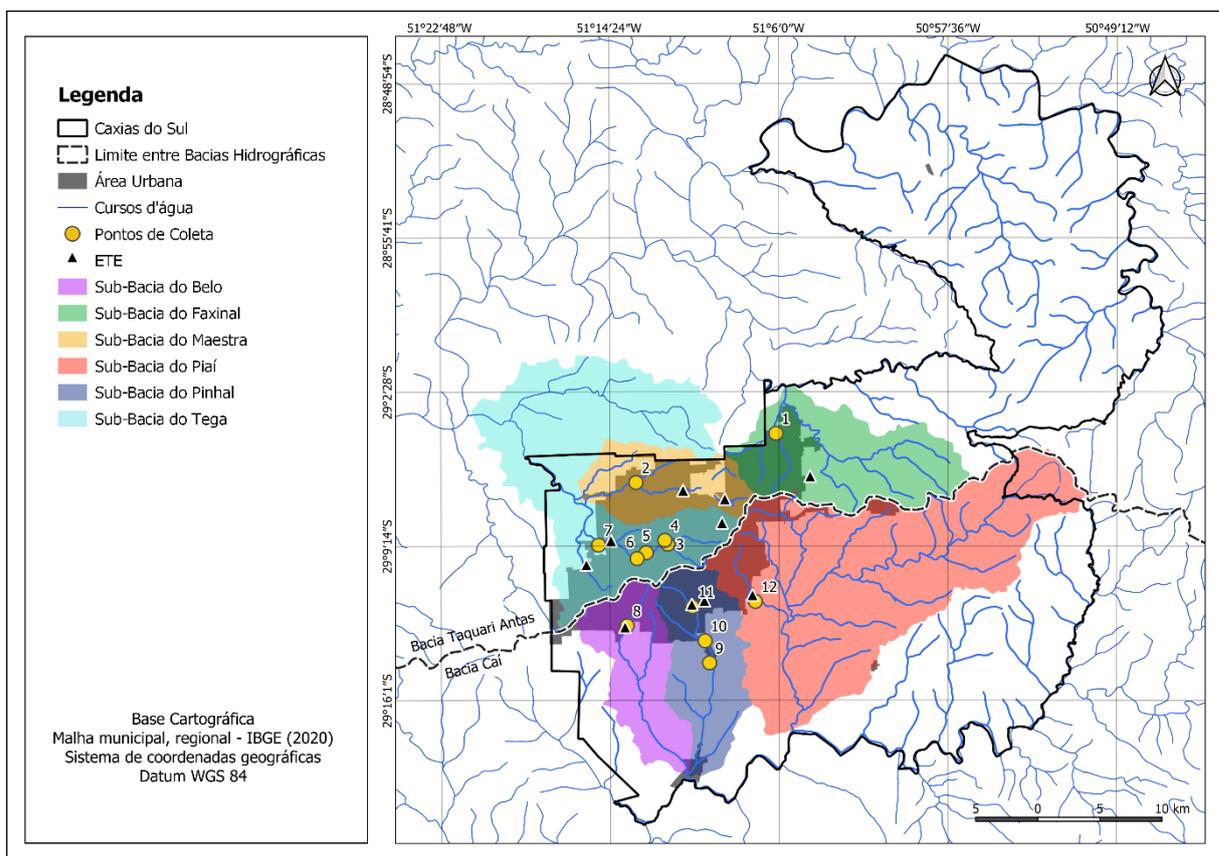
As resoluções CRH nº 50 de 2008 e CRH nº 53 de 2009 (RIO GRANDE DO SUL, 2008; RIO GRANDE DO SUL, 2009), estabeleceram as metas de enquadramento para a bacia hidrográfica do Caí,

determinado 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 2024 o prazo final para atingir a meta.

Levantamento de dados

Foram definidos 12 pontos de amostragem para análise da qualidade da água, localizados dentro da área urbana do município de Caxias do Sul, abrangendo as bacias do rio Caí e rio Taquari-Antas. Dos pontos originalmente selecionados para amostragem, 11 estavam integrados na rede de monitoramento de Schneider (2014), durante um estudo conduzido entre os anos de 2012 a 2014. Os pontos determinados drenam a maior parte da área urbana e estão localizados próximos às ETEs de Caxias do Sul. Além desses, foi estabelecido um novo ponto, demarcado no arroio Pinhal, denominado Pinhal 0, ao final da zona urbanizada do bairro Galópolis, com a finalidade de analisar a contribuição do bairro ao curso hídrico. Apesar da sub-bacia do Piaí ser a maior do município, conta apenas com um ponto de coleta, já que a maior parte dela, especialmente na porção leste, ainda não está urbanizada. A Figura 2 apresenta o mapa das sub-bacias onde se inserem os pontos de amostragem de qualidade da água.

Figura 2 - Localização dos pontos de qualidade da água



Fonte: Os autores, 2023.

No Quadro 1 estão apresentados os pontos monitorados: o código do ponto no mapa (ID), as denominações dos pontos, descrição da localização e a respectiva coordenada geográfica.

Quadro 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.	29° 04' 17" S 51° 06' 11" O	Sub-bacia do Faxinal
2	Maestra 2	O ponto está localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Maestra.	29° 06' 25" S 51° 13' 08" O	Sub-bacia do Maestra
3	Tega 3	O ponto localiza-se na parte canalizada do rio Tega, recebendo o efluente de área densamente urbanizada.	29° 09' 09" S 51° 11' 29" O	Sub-bacia do Tega
4	Tega 4	O ponto localiza-se em área densamente urbanizada e industrializada.	29° 08' 59" S 51° 11' 35" O	Sub-bacia do Tega
5	Tega 5	O ponto localiza-se junto ao espaço cultural Moinho da Cascata, no rio Tega.	29° 09' 39" S 51° 12' 42" O	Sub-bacia do Tega
6	Tega 6	Localizado em local com elevada densidade de ocupação e de atividades.	29° 09' 45" S 51° 13' 02" O	Sub-bacia do Tega
7	Tega 9	Localizado a jusante da Estação de Tratamento de Efluentes do rio Tega.	29° 09' 04" S 51° 14' 50" O	Sub-bacia do Tega
8	Belo 1	Situado em área de influência antrópica. A sua nascente está localizada dentro do perímetro urbano.	29° 12' 39" S 51° 13' 18" O	Sub-bacia do Belo
9	Pinhal 0	Recebe efluentes domésticos e industriais de todo o distrito de Galópolis.	29° 14' 02" S 51° 09' 16" O	Sub-bacia do Pinhal
10	Pinhal 1	O ponto recebe as contribuições de drenagem do ponto 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.	29° 13' 22" S 51° 09' 37" O	Sub-bacia do Pinhal
11	Pinhal 2	Está localizado a montante da Estação de Tratamento de Efluentes do Arroio Pinhal. Drena uma área urbanizada.	29° 11' 57" S 51° 10' 14" O	Sub-bacia do Pinhal
12	Piaí 4	O ponto de amostragem recebe contribuições de extensas áreas urbanizadas.	29° 11' 39" S 51° 07' 09" O	Sub-bacia do Piaí

Fonte: Os autores, 2023.

As coletas e análise da água foram realizadas nos meses de fevereiro a novembro de 2022, totalizando seis campanhas. As amostras foram coletadas seguindo os procedimentos definidos pela NBR 9898/1987 (ABNT, 1987) e pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2016). Os ensaios para determinação da condutividade, oxigênio dissolvido, potencial de oxirredução (ORP), pH, temperatura da amostra e do ar e turbidez foram realizados a campo e os parâmetros cianeto total, coliformes termotolerantes, cobre, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais e zinco foram determinados pelo Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais, LAPAM, seguindo a metodologia estabelecida pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23 (APHA, 2017) e NBR 12620/1992 (ABNT, 1992), conforme apresentado no Quadro 2.

Foram utilizados os dados de qualidade da água referente ao período de 2012 a 2014 conforme estudo conduzido por Schneider (2014), a fim de se compreender de forma temporal a qualidade da água nas sub-bacias do município de estudo. Para efeito de comparação, foram considerados 11 pontos de coleta, localizados na área urbana, identificados por Schneider.

Esses resultados foram obtidos do banco de dados do Sistema de Informação Ambiental (SIA), elaborados pela Universidade de Caxias do Sul (SIA, 2023), através de campanhas de amostragem realizadas nos meses de setembro de 2012 a maio de 2014, totalizando 11 campanhas.

Os dados foram separados em períodos, sendo o Período 1 referente aos dados que competem aos anos de 2012 a 2014, e o Período 2 os dados do ano de 2022, a fim de facilitar o entendimento da qualidade da água. Os resultados dos parâmetros de ambos os períodos foram analisados com o auxílio de métodos de estatística descritiva, detalhados no Quadro 2.

Quadro 2 - Método de análise e limite de quantificação dos parâmetros analisados

Parâmetro	Unidade	Limite de quantificação	Metodologia
Cianeto Total	mg/L	0,010	SMWW-Método 4500-CN- E
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	SMWW-Método 9221-E
Cobre	mg/L	0,0471	SMWW-Método 3120-B
Condutividade	mS/cm	-	Sonda multiparâmetro MULT
Cromo	mg/L	0,0205	SMWW-Método 3120-B
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/L	1,0	SMWW-Método 5210-B
Demanda química de oxigênio	mg/L	4	SMWW-Método 5220-C
Fósforo total	mg/L	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E
Níquel	mg/L	0,0076	SMWW-Método 3120-B
Nitrato	mg/L	0,04	ABNT NBR 12620 (1992)
Nitrogênio amoniacal	mg/L	3,07	SMWW-Método 4500-NH3 B-C
Nitrogênio Total	mg/l	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B
Oxigênio dissolvido	mg/l	-	Oxímetro óptico OXI
ORP	mV	-	Sonda multiparâmetro MULT
pH	pH	-	Sonda multiparâmetro MULT
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	10,0	SMWW-Método 2540-C
Sólidos totais	mg/l	12,0	SMWW-Método 2540-B
Temperatura da amostra	°C	-	Termômetro químico
Temperatura do ar	°C	-	Oxímetro óptico OXI
Turbidez	NTU	-	Sonda multiparâmetro MULT
Zinco	mg/l	0,0025	SMWW-Método 3120-B

Nota: SMWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23

Fonte: Os autores, 2023.

Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das técnicas da estatística multivariada, cujo objetivo é resumir a maior parte da informação original a um número mínimo de fatores (HAIR et al., 2009).

A aplicação da ACP depende de dois testes que devem ser realizados previamente, sendo eles: o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett. O teste de KMO tem por objetivo em verificar a medida de correlação entre as variáveis independentes, sendo que o valor do teste varia de 0 a 1, considerando que valores abaixo de 0,5 indicam inapropriada a aplicação da ACP (FRAGA et al., 2021). Enquanto o teste de esfericidade de Bartlett testa se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não há correlação entre os dados e que o modelo de análise é inapropriado (FINKLER et al., 2015).

Realizou-se a ACP para as variáveis de qualidade da água monitorada nas campanhas de todo o ano de 2022, totalizando 21 variáveis distribuídas em seis campanhas. Uma mesma variável pode apresentar alta carga fatorial em mais de um dos componentes, por isso foi realizado o procedimento

de rotação ortogonal da matriz através do método varimax, utilizado também nos estudos de Finkler et al. (2015), Corrêa et al. (2019) e Fraga et al. (2021). Para determinar o número de componentes principais foi feito o uso da análise paralela (AP) (Horn, 1965) com base nos principais componentes. Conforme Damasio (2012), a AP foi desenvolvida para ser utilizada como critério para retenção de componentes. A AP envolve a criação aleatória de matrizes de correlação hipotética, com a mesma dimensionalidade dos dados reais, e demonstra potencial para superar abordagens como autovalores e scree plot (DAMASIO, 2012; IACOBUCCI, et al., 2022).

Os valores dos dados dos parâmetros foram padronizados para a aplicação do teste estatístico por meio da transformação logarítmica.

Liu et al. (2000) classificam os valores das cargas fatoriais como relevantes ($>0,75$), médios ($> 0,50$ e $<0,75$) e irrelevantes ($<0,50$). Nesse estudo, igualmente a Finkler et al. (2015), Rocha e Pereira (2016) e Quinelato et al. (2021) definiram para a compreensão da ACP as cargas fatoriais superiores a 0,5 pelos dados de qualidade da água sofrerem grande variabilidade.

Para realização das análises estatísticas foi utilizado o software JASP, versão 0.17.2.1, programa livre e de código aberto criado para auxiliar em análises estatísticas, apoiado pela Universidade de Amsterdã (JASP, 2023).

Análise de agrupamento (AA)

Para a análise de agrupamentos (AA) foram utilizados os dados do Período 1 de coleta de água disponibilizados pelo SIA, que compete aos anos de 2012 a 2014, e os dados das coletas do Período 2, realizadas no ano de 2022, com exceção ao ponto Pinhal 0, por não existir dados desse ponto na campanha 1. Optou-se por analisar os Períodos 1 e 2 de forma isolada com o objetivo de se identificar os pontos e sub-bacias que mais contribuem com a degradação da qualidade da água com o passar do tempo.

O processamento dos dados para a AA foi dividido em padronização dos parâmetros e escolha da estratégia de agrupamento. Utilizou-se o método *Ward* como critério hierárquico de agrupamento com medida de similaridade dada pela distância euclidiana, conhecida como distância em linha reta. A escolha do critério se fundamentou com base em outras pesquisas envolvendo a qualidade da água (GOMES e CAVALCANTE, 2017; GOMES e MENDONÇA, 2017; PASTRO et al.; 2020; SOUZA, CECCONELLO e CENTENO, 2021). Foi realizada a padronização dos dados por meio da transformação logarítmica. A análise de agrupamento (AA) foi realizada a partir do software JASP (JASP, 2023).

Após a execução das etapas descritas, foi realizada a montagem do dendrograma utilizando o agrupamento das amostras semelhantes. O ponto de corte do dendrograma foi estabelecido em relação às maiores distâncias em que os grupos foram formados, levando em conta a não heterogeneidade dos dados dentro dos grupos e considerando o gráfico de degraus, em que é possível observar onde ocorre a maior variação de distância (VICINI e SOUZA, 2005, CENTENO et al, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados da estatística multivariada foi dividida em duas partes. Na primeira são apresentados os resultados da análise de componentes principais (ACP) para os 21 parâmetros analisados nas campanhas de coleta de água de 2022 (Período 2), trazendo os arranjos de variáveis que influenciam na qualidade da água da área urbana do município de Caxias do Sul. A segunda parte traz a análise de agrupamentos (AA) dividida em Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Análise de Componentes Principais (ACP)

Ao avaliar a adequação dos dados para a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), verificou-se que o teste de KMO apresentou o índice de 0,786 sendo o valor maior que 0,5, demonstrando que há correlação entre as variáveis (FRAGA et al., 2021). O teste de esfericidade de Bartlett demonstrou significância estatística, com o valor de $p < 0,001$. Com base nos resultados desses testes, constata-se a eficácia da ACP ao ser aplicada ao conjunto de dados em questão.

Ao extrair os fatores das variáveis de qualidade da água das campanhas de 2022 por intermédio da análise paralela (AP), foram encontrados três componentes que explicam juntos 63,1% da variabilidade

dos dados. Na Tabela 1 é apresentada a pontuação dos autovalores de cada componente principal e a distribuição das cargas fatoriais e correlações com as variáveis rotacionadas de forma ortogonal através do método varimax.

De acordo com os dados apresentados, a primeira componente (CP1) explicou uma variação de 26,2% formado pelos parâmetros, DBO, turbidez, DQO, nitrogênio total e amoniacal e coliformes termotolerantes e os parâmetros nitrato, ORP e oxigênio dissolvido (OD) representados por coeficiente negativo que indica uma correlação inversa entre as variáveis. O conjunto desses parâmetros indica forte contaminação das águas por despejos de efluentes de origem doméstica *in natura* ou parcialmente tratados nos corpos hídricos. O resultado corrobora com o trabalho de Finkler et al. (2015), ao considerar as análises da água no município de Caxias do Sul nos anos de 2012 a 2014; encontraram os parâmetros associados aos despejos de efluentes domésticos no primeiro componente com variação de 27,06%. No trabalho em questão, a condição encontrada foi associada às estações de tratamento (ETE) do Tega, Pinhal e Belo não estarem em operação total ou ainda em fase de construção. Atualmente todas as ETE estão em operação e com capacidade para atender a população das sub-bacias. Observa-se, no entanto, que ainda são encontrados parâmetros que sugerem a contaminação das águas por efluentes domésticos. Isso pode estar associado à ausência da ligação do esgoto na rede coletora por parte da população tendo em vista que, com base nos dados do SNIS (BRASIL, 2022), o município de Caxias do Sul apresentava, em 2022, um índice de 80% de coleta de esgoto, mas apenas 48,87% desse esgoto recebiam o devido tratamento.

Guedes et al. (2012) e Pinto, Faria e Almeida (2021) também encontraram nos primeiros componentes as variáveis que indicavam a presença de cargas de nutrientes oriundas do esgoto doméstico, com destaque para os parâmetros de oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes. Rocha e Pereira (2016) identificaram na CP1 cor, turbidez, OD, ferro e condutividade, relacionando variável OD com os valores de turbidez, onde esses podem influenciar na passagem de luz solar o que, conseqüentemente, geraria diminuição nos valores de oxigênio dissolvido. Igualmente ao presente estudo, Alves et al. (2012) encontraram correlação inversa entre DBO e OD, o que indica um consumo de OD no processo de degradação da matéria orgânica e o aumento da DBO.

Tabela 1 - Matriz de peso fatorial das variáveis de qualidade da água analisadas

Parâmetros	Componente principal		
	1	2	3
Demanda bioquímica de oxigênio	0.842	0,283	0,145
Nitrato	-0.816	-0,079	-0,306
ORP	-0.798	-0,138	-0,317
Turbidez	0.793	-0,102	0,111
Oxigênio dissolvido	-0.757	-0,067	0,158
Demanda química de oxigênio	0.683	0,238	0,257
Nitrogênio total Kjeldahl	0.677	0,426	0,361
Nitrogênio amoniacal	0.641	0,358	0,419
Coliformes termotolerantes	0.614	0,249	-0,024
Fósforo total	0,408	0.668	0,080
Temperatura da amostra	0,042	0.846	0,158
Temperatura do ar	-0,105	0.807	0,215
Condutividade	0,317	0.769	0,006
Sólidos dissolvidos totais	0,185	0.637	-0,017
Sólidos totais	0,135	0.622	-0,104
Cobre total	0,139	0,213	0.829
Níquel total	0,163	-0,006	0.776
Zinco total	0,314	-0,062	0.727
Cianeto total	-0,097	0,064	0.714
pH	0,274	0,348	0.679
Cromo total	0,096	-0,089	0.569
Total	5,494	3,928	3,825
% Variação	26,2	18,7	18,2
% Variação acumulada	26,2	44,9	63,1

Fonte: Os autores, 2023.

O segundo fator explicou uma variação de 18,7% mostrando a correlação entre as variáveis fósforo total, temperatura da amostra e do ar, condutividade e os sólidos totais e dissolvidos. Segundo a CETESB (2020), a condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, sendo assim, altos valores dessas cargas podem indicar características corrosivas da água. Ribeiro et al. (2016), Rocha e Pereira (2016) e Marinho et al. (2020), ao analisarem a qualidade da água, verificaram que os valores encontrados de sólidos dissolvidos totais e a condutividade eram diretamente proporcionais. Guedes et al. (2012) constataram no terceiro agrupamento fatorial a associação de sólidos totais e dissolvidos com fósforo total e assimilaram com a contribuição de esgotos domésticos e resíduos sólidos dispostos inadequadamente nas margens do curso de água.

O terceiro fator explicou uma variação de 18,2% e abrange as variáveis cobre, níquel, zinco, cianeto e pH. Tal relação de parâmetros demonstra a contaminação química da água. Certos processos biológicos de tecidos vivos e microrganismos requerem alguns tipos de metais para acontecerem. Cobre, manganês e zinco, quando em baixas concentrações são fundamentais em processos fisiológicos de regulação (TUNDISI, 2008). Entretanto, se esses metais estiverem em concentrações elevadas em um meio aquático podem ser tóxicos aos organismos e ao ser humano, sendo o processo de bioacumulação na rede alimentar um dos piores problemas (TUNDISI, 2008).

O cianeto juntamente com níquel são compostos utilizados em galvanoplastias. O cromo é amplamente utilizado em produção de ligas metálicas, tintas, fertilizantes, curtumes. O metal cobre pode ser associado à corrosão de tubulações, efluentes de estação de tratamentos e outros. E o zinco também é um composto utilizado na galvanização de aço e fabricação de ligas e outros (CETESB, 2020). Conforme Deresio (2012), a ocorrência de cobre, chumbo, cromo e níquel na CP3 é resultado do despejo industrial. O município de Caxias do Sul destaca-se como sendo um polo metal mecânico importante no país (SALES, 2006) o que justifica a relação das cargas químicas encontradas no terceiro fator de agrupamento. Finkler et al. (2015) também encontraram contaminação química nas águas de Caxias do Sul e associaram ao conglomerado de atividades industriais do município, com ênfase ao ramo galvanotécnico. O pH, presente no CP3, demonstra a influência dessa variável quanto à solubilidade e ou precipitação de íons metálicos (YABE e OLIVEIRA, 1998; NASCIMENTO et al., 2015).

Análise de Agrupamento (AA)

A análise de agrupamentos foi dividida em duas partes: primeiro considerando o agrupamento de pontos do Período de amostragem 1 (2012 a 2014) e o segundo com o agrupamento de pontos do Período de amostragem 2 (2022). Além dos dados da AA, serão apresentadas as tabelas com a estatística descritiva para cada uma das campanhas de estudo, a fim de auxiliar na compreensão dos dados da análise.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva para os dados gerais do Período 1 (2012 a 2014).

Tabela 2 - Estatística descritiva das análises realizadas no Período 1 (2012 a 2014)

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Cianeto total	mg/l	0,01	0,97	0,08	0,17
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	7,90x10 ²	1,6x10 ⁷	6,85x10 ⁵	3,06x10 ⁶
Cobre	mg/L	0,02	1,96	0,23	0,35
Condutividade	mS/cm	0,19	3170,0	345,20	311,53
Cromo	mg/L	0,04	3,89	0,22	0,45
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/L	1,31	281,0	33,0	45,48
Demanda química de oxigênio	mg/L	9,00	729,0	69,49	90,82
Fósforo total	mg/L	0,19	20,81	1,28	2,12
Níquel	mg/L	0,002	1,97	0,19	0,28
Nitrato	mg/L	0,18	38,91	7,72	6,49
Nitrogênio amoniacal	mg/L	1,23	26,90	10,35	5,68
Nitrogênio total	mg/L	1,75	48,19	13,35	8,27
Oxigênio dissolvido	mg/L	1,32	13,34	8,54	2,82
ORP	mV	-210,0	381,0	163,38	90,65
pH	pH	5,88	8,79	7,55	0,48
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1,00	515,0	224,88	95,79

Sólidos totais	mg/L	94,00	1035,0	240,48	125,72
Temperatura da amostra	°C	11,88	26,60	18,32	3,29
Temperatura do ar	°C	8,20	36,00	21,74	5,77
Turbidez	NTU	0,00	766,00	31,82	80,87
Zinco	mg/L	0,03	3,11	0,29	0,44

Fonte: Os autores, 2023.

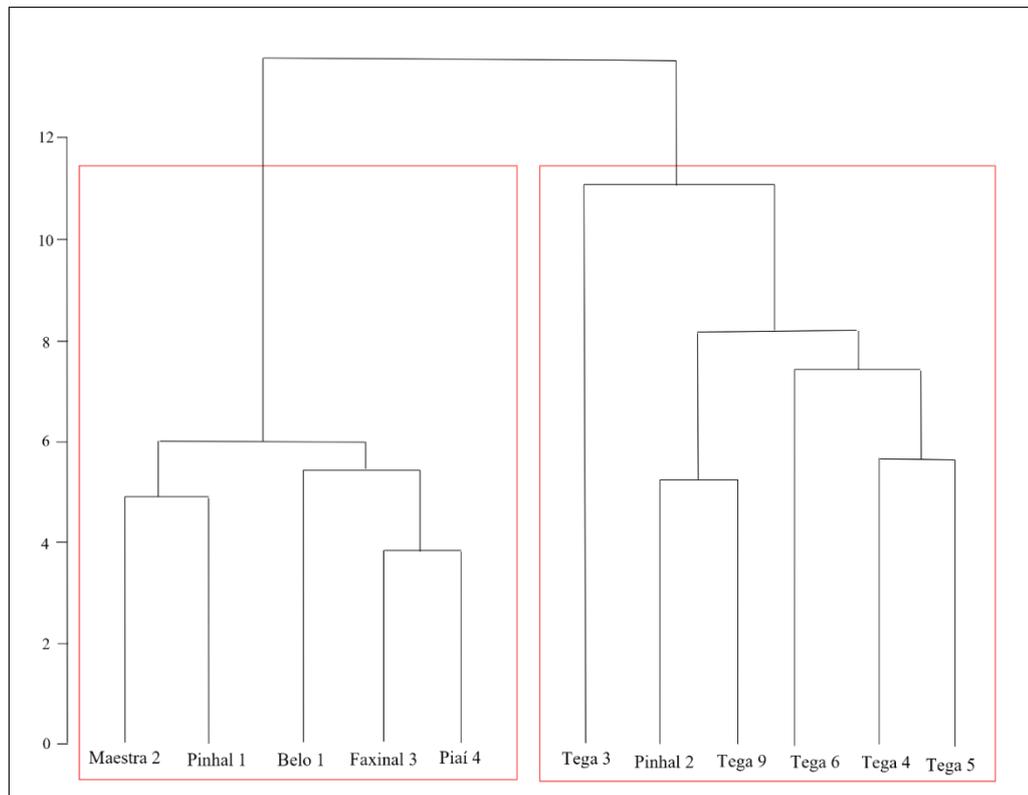
Os dados demonstram elevados valores para os parâmetros analisados quando comparados à resolução Conama 357/05, que classifica os cursos d'água como classe 4. Os parâmetros como coliformes, DBO, fósforo e nitrogênio possuem médias de valores acima do permitido demonstrando contaminação do recurso hídrico por descargas de efluentes domésticos e industriais. Os metais como cobre, cromo e níquel também apresentam médias acima do permitido, o que igualmente classificaria o corpo hídrico como classe 4 para resolução supracitada.

A partir da análise de AA, os dados de qualidade da água de 2012 a 2014 foram divididos em dois grupos principais (Figura 3).

O grupo 1 é composto pelos pontos Maestra 2, Pinhal 1, Belo 1, Faxinal 3 e Piaí 4. O grupo 2 foi formado por todos os pontos relacionados ao Tega (Tega 3, 4, 5, 6 e 9) e o ponto Pinhal 2 que pertence à sub-bacia do Pinhal. O grupo 1 apresenta maior similaridade entre os pontos, demonstrando ser um grupo homogêneo. Já o grupo 2 não apresenta homogeneidade como o grupo anterior, principalmente pelo ponto Tega 3, que possui a maior distância entre os outros pontos. Esse ponto drena a área mais urbanizada e central do município de estudo, recebendo elevadas cargas de efluentes de origem doméstica, como coliformes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo, nitrogênio amoniacal e total e valores baixos de oxigênio dissolvido.

No grupo 2 encontram-se as maiores médias de concentrações de metais, como o cobre com média de 0,38 mg/L, cromo com 0,36 mg/L, níquel com 0,31 mg/L e zinco com 0,44 mg/L. O grupo 1 apresenta média para os metais de 0,04 mg/L para cobre e cromo, 0,05 mg/L para níquel e 0,09 mg/L para zinco, valores bem distintos do grupo 2.

Figura 3 - Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água de 2012 a 2014



Fonte: Os autores, 2023.

Outras variáveis também contribuíram para a formação dos grupos e caracterizam a qualidade da água no local. No grupo 1, a média de valor para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi de 11,44 mg/L, de demanda química de oxigênio (DQO) foi de 31,14 mg/L, fósforo foi de 0,73 mg/L, nitrogênio amoniacal de 7,28 mg/L e de nitrogênio total foi de 8,60 mg/L. As médias de concentração do grupo 2 demonstraram valores mais elevados, chegando a quatro vezes o encontrado no grupo 1. Os valores médios de DBO foram de 50,97 mg/L, de DBQ chegou a 101,45 mg/L, os valores médios de fósforo ficaram em 1,74 mg/L, nitrogênio amoniacal ficou em 12,91 mg/L e nitrogênio total em 17,30 mg/L. Os valores dos parâmetros demonstram maior contaminação nessas águas por efluentes domésticos e por efluentes industriais.

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva para os dados gerais do Período 2 (2022). Os dados demonstram elevados valores para determinados parâmetros como coliformes, cobre, fósforo, níquel e nitrogênio o que, igualmente no Período 1 (2012 a 2014), enquadraria o corpo hídrico em classe 4 na Conama 357/05. Apesar de os valores encontrados do Período 2 (2022) serem menores do que os encontrados no Período 1 (2012 a 2014), ainda é possível constatar a contaminação por despejo de efluente doméstico e industrial nos rios de estudo. Os metais como cobre e níquel ainda apresentam médias acima do permitido para resolução supracitada.

Tabela 3 - Estatística descritiva das análises realizadas no Período 2 (2022)

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Cianeto total	mg/L	0,01	0,411	0,025	0,056
Coliformes termotolerantes	NMP/100m L	7,91x10 ²	1,6x10 ⁶	1,41x10 ⁵	4,03x10 ⁵
Cobre	mg/L	0,007	0,522	0,047	0,078
Condutividade	mS/cm	0,105	0,611	0,306	0,107
Cromo	mg/L	0,004	0,162	0,021	0,031
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/L	1,80	151,90	9,81	19,26
Demanda química de oxigênio	mg/L	4,00	228,00	30,77	30,27
Fósforo total	mg/L	0,221	2,95	0,97	0,57
Níquel	mg/L	0,008	0,41	0,03	0,07
Nitrato	mg/L	0,040	10,47	2,47	1,96
Nitrogênio amoniacal	mg/L	3,07	25,89	7,42	5,38
Nitrogênio total	mg/L	2,80	30,13	9,18	6,53
Oxigênio dissolvido	mg/L	0,17	8,20	5,65	2,07
ORP	mV	-5,00	225,00	125,84	54,40
pH	pH	7,04	8,63	7,59	0,34
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	10,00	272,00	139,27	52,73
Sólidos totais	mg/L	34,00	350,00	177,69	60,08
Temperatura da amostra	°C	14,40	27,80	19,87	3,11
Temperatura do ar	°C	12,00	32,00	23,28	4,73
Turbidez	NTU	1,20	32,80	6,57	6,85
Zinco	mg/L	0,011	0,832	0,11	0,13

Fonte: Os autores, 2023.

A partir da análise de AA dos dados de 2022, foram divididos também em dois grupos principais (Figura 4).

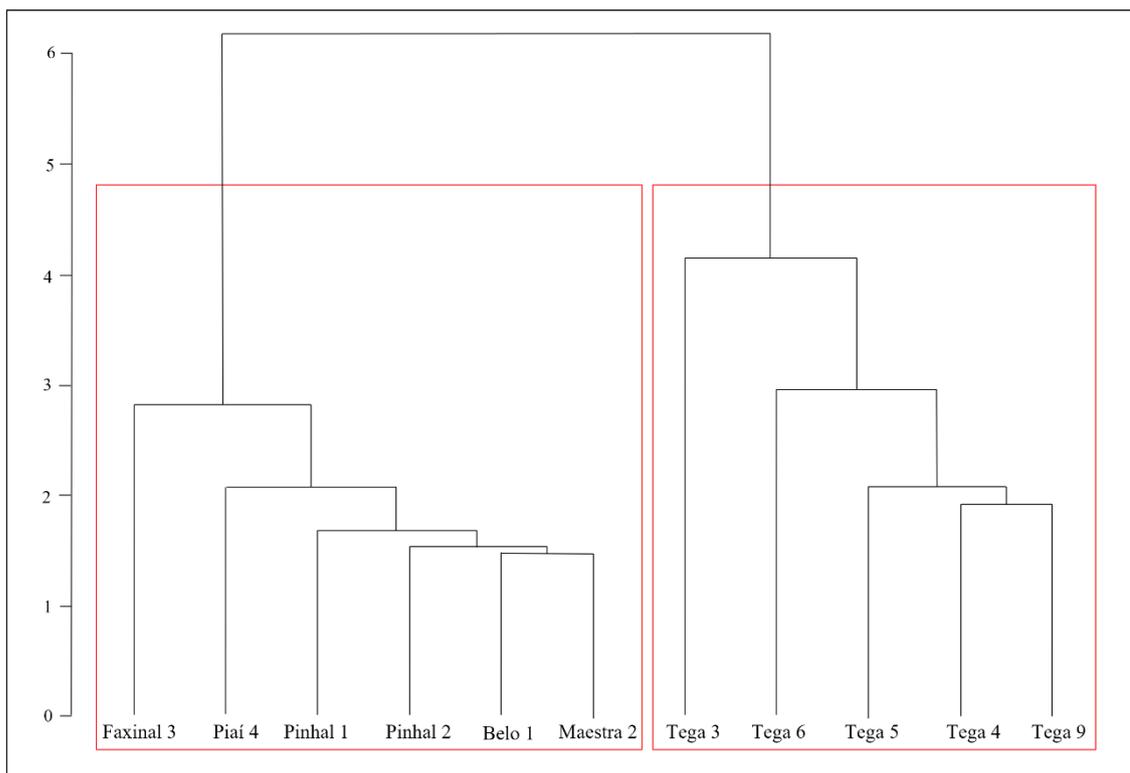
O grupo 1 é composto pelos pontos Belo 1, Faxinal 3, Maestra 2, Piaí 4 e os dois pontos do Pinhal, Pinhal 1 e 2. Vale ressaltar que nesse período de estudo o ponto Pinhal 2, que anteriormente no Período 1 (2012 a 2014) estava no grupo 2, passou para o grupo 1.

O grupo 2 foi formado por todos os pontos relacionados ao Tega (Tega 3, 4, 5, 6 e 9). Nessa sub-bacia, são observadas as maiores médias de concentrações de cobre chegando a 0,08 mg/L, DBO com 16,96 mg/L, DQO com 45,24 mg/L, fósforo com 1,25 mg/L, nitrogênio amoniacal com 11,07 mg/L e nitrogênio total com 14,17 mg/L. o que caracterizam a piora da qualidade do grupo. O grupo 1 apresenta médias para os parâmetros citados acima quase três vezes menor do que o grupo 2 com resultados para cobre

de 0,02 mg/L, DBO de 4,72 mg/L, DQO de 21,16 mg/L, fósforo de 0,78 mg/L, nitrogênio amoniacal de 4,93 mg/L e nitrogênio total de 5,64 mg/L.

Os parâmetros citados estão associados ao lançamento de efluentes domésticos, com exceção do cobre. De acordo com a pesquisa realizada por Rodrigues, Nolasco e Jesus (2018), foi constatado que os pontos com menor qualidade da água refletiam a entrada de efluentes domésticos. Pastro et al. (2020) e Rodrigues Junior et al. (2022) evidenciaram que algumas variáveis como coliformes termotolerantes e coliformes totais e a intensa influência urbana foram determinantes para a formação de grupos na análise de AA. Sant'Ana, Vital e Silva (2019) identificaram que os parâmetros DBO, condutividade, sólidos dissolvidos totais e coliformes termotolerantes influenciavam na qualidade da água, sendo esses relacionados ao processo de urbanização das cidades.

Figura 4 - Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água de 2022



Fonte: Os autores, 2023.

Os valores médios de coliformes termotolerantes e DBO foram os que mais contribuíram para a melhora na qualidade da água, que era de $8,30 \times 10^5$ NPM/100 mL e 60,40 mg/L consecutivamente no Período 1 e passaram a $2,9 \times 10^4$ NPM/100 mL e 5,16 mg/L no Período 2. No ano de 2014 foi inaugurada a ETE Pinhal, sendo considerada a segunda maior do município (SAMAE, 2023), o que pode ter contribuído com a melhora nos valores dos parâmetros analisados para o ponto no Período 2. Os pontos situados na sub-bacia do Tega em ambos os períodos analisados foram agrupados juntos, demonstrando a similaridade deles com o passar dos anos. Essa sub-bacia é uma das mais urbanizadas do município e com elevada presença de atividades industriais o que torna evidente a influência negativa da urbanização na qualidade da água (SANT'ANA, VITAL E SILVA, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água, através da estatística multivariada, possibilita a compreensão dos parâmetros que mais contribuem com a degradação da qualidade da água nos recursos hídricos de Caxias do Sul. Os dados apontam que as variáveis associadas aos efluentes domésticos são as que hoje contribuem diretamente na qualidade do corpo hídrico, apresentando 26,2% da variância dos dados na

análise da ACP. A análise de agrupamentos também demonstrou forte relação das bacias mais urbanizadas com a contaminação por efluentes domésticos e contaminação pelos efluentes industriais, onde não se observou grande alteração no agrupamento de pontos do Período 1 (2012 a 2014) e do Período 2 (2022).

Isso demonstra a necessidade de estudos futuros que visem compreender a urbanização crescente das cidades e a relação com as estações de tratamento de efluentes (ETE), a fim de se identificar se o município está conseguindo tratar de forma eficaz o efluente gerado pela população.

A contaminação por efluentes industriais foi identificada no terceiro componente principal com 18,2% de variação dos dados, através das variáveis cianeto, cobre, níquel e zinco. Caxias do Sul é considerada no país, um grande polo metalmeccânico, o que traz a importância da fiscalização e orientação por meio dos órgãos ambientais para com as indústrias.

A estatística multivariada, através da análise de ACP e análise de agrupamentos, demonstrou ser ferramenta útil para a gestão dos dados da qualidade da água, facilitando o entendimento e possibilitando a tomada de decisões mais assertivas acerca das providências a serem tomadas para com os recursos hídricos.

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 n° 9.898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, jun.1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 12620**: Determinação de nitrato – métodos do ácido cromotrópico e do ácido fenoldissulfônico. Rio de Janeiro, set.1992.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. de L. S.; MONTEIRO, S. de M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012.

<http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672012000100014>.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23. Ed., 2017.

BIFANO, R. B. A. *et al.* Avaliação da Qualidade da Água em Microbacias Hidrográficas do Extremo Sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2447-2461, 2020.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2447-2461>

BRASIL. **Lei Federal 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.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto**. 2021. Brasília: SNIS, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/diagnosticos_snis. Acesso em: 7 jul. 2023.

CENTENO, L. N.; CECCONELLO, S. T.; GUEDES, H. A. S.; LEANDRO, D.; MORAES, P. Monitoramento da qualidade da água do arroio São Lourenço/RS. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 1, n. 2, p. 67-76, 2016. <https://doi.org/10.26669/2448-4091119>

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: CETESB; ANA, 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. 2020. Apêndice C Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.

CIDREIRA-NETO, I. R. G.; GUILHERME, B. C.; RODRIGUES, G. G.; CANDEIAS, A. L. B. Qualidade da Água no Estuário do Rio Goiana, Nordeste do Brasil: subsídios para a conservação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2340-2353, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2340-2353>

CORRÊA, H. K.; RIEGEL, R. P.; ALVES, D. D.; OSÓRIO, D. M. M.; COSTA, G. M. da; HUSSAIN, C. M.; QUEVEDO, D. M. de. Multivariate Statistical Analysis and Use of Geographic Information Systems in Raw Water Quality Assessment. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, n. 52, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190431>

DAMASIO, B. F. Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. **Aval. psicol.**, Itatiba, v. 11, n. 2, p. 213-228, ago. 2012. Disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712012000200007&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 22 fev. 2024.

DERISIO, J. C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 4ª edição atualizada, São Paulo, Oficina de Textos, 2012.

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**, v. 10, n. 4, p. 782-792, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>

FRAGA, M. de S.; ALMEIDA, L. T. de; ABREU, M. C.; SILVA, F. B.; REIS, G. B.; FERREIRA, R. G. Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 694-710, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p694-710>

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017. <https://doi.org/10.14295/ras.v31i1.28617>

GOMES, M. C. R.; MENDONÇA, L. A. R. Análise estatística multivariada aplicada em amostras de água subterrânea da região do Cariri, sul do Estado do Ceará. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 3, p. 453-465, 2017. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.83269>

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T. de; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012>

HAIR, J. F Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; et al. **Análise multivariada de dados**. São Paulo: Grupo A, 2009. E-book. ISBN 9788577805341. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577805341/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

HORN, J. L. A rationale and technique for estimating the number of factors in factor analysis. **Psychometrika**, v.30, n. 1, p.179-185, 1965. <https://doi.org/10.1007/BF02289447>

IACOBUCCI, D.; RUVIO, A.; ROMÁN, S.; MOON, S.I; HERR, P. M. How many factors in factor analysis? New insights about parallel analysis with confidence intervals. **Journal Of Business Research**, v. 139, p. 1026-1043, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.09.015>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Caxias do Sul**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/caxias-do-sul.html>. Acesso em: 23 jun. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2022. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022>. Acesso em: 23 jun. 2023.

JASP. **Software estatístico JASP**. 2023. Elaborado pela Universidade de Amsterdã. Disponível em: <https://jasp-stats.org/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

- KHAN, M. Y. A.; ELKASHOUTY, M.; ABDELLATTIF, A.; EGBUERI, J. C.; TAHA, A. I.; DEEP, M. A.; SHAABAN, F. Influence of natural and anthropogenic factors on the hydrogeology and hydrogeochemistry of Wadi Itwad Aquifer, Saudi Arabia: Assessment using multivariate statistics and PMWIN simulation. **Ecological Indicators**, v. 151, n. 110287, p. 1-16, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110287>
- LIU, S.; MANSON, J. E.; STAMPFER, M.J.; Hu, F.B.; GIOVANNUCCI, E.; COLDITZ, G.A.; HENNEKENS, C.H.; WILLETT, W.C. A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. **American journal of Public Health**, v. 90, p. 1409–1415, 2000. <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.9.1409>
- MARINHO, E. R.; MOREIRA, F. da S. de A.; BRITO, W. J. P.; MOREIRA, F. L. B. B.; SILVA, E. R. M. da; SANTOS, L. F. dos. Avaliação da Ação Urbana no Canal Água Cristal em Belém, Pará, um Estudo Sobre Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 322, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p322-335>
- NASCIMENTO, B. L. M.; GOMES, D. R. C. de S.; COSTA, G. P.; ARAÚJO, S. S.; SANTOS, L. C. A. dos; OLIVEIRA, J. D. de. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb(II) e Fe(III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 369-378, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000113620>.
- OKUMURA, A. T. R. et al. Determinação da Qualidade da Água de um Rio Tropical sob a perspectiva do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850>
- OLIVEIRA, F. R. de; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; FERRAZ, F. T. Qualidade de água e diagnóstico socioambiental das famílias do Assentamento Florestan Fernandes. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 74, p. 226–240, 2020. <https://doi.org/10.14393/RCG217450284>
- PASTRO, M. S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, F. R. De; FERRAZ, F. T. Estatística Multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 185–191, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.8047>
- PINTO, C. C.; FARIA, F. P. C. P. de; ALMEIDA, G. M. de. Utilização de modelo baseado em análise por componentes principais para identificação de condições críticas de qualidade de água superficial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 288-305, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0024>
- QUINELATO, R. V. et al. Determinação da qualidade da água superficial e sua compatibilidade com os múltiplos usos: estudo de caso do estuário do rio Caraíva. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 37-57, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p037-057>
- RIBEIRO, T. G.; BOAVENTURA, G. R.; DA CUNHA, L. S.; PIMENTA, S. M. Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. **Geochimica Brasiliensis**, v. 30, n. 1, pág. 84, 2016. Disponível em: <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/449>. Acesso em: 8 jun. 2023.
- 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: 1 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: 1 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://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 1 dez. 2022.
- ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 11, n. 1, p. 176-187, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1590>

- RODRIGUES, D. da P.; NOLASCO, M. C.; DE JESUS, T. B. Background de Qualidade De Água do Alto Paraguaçu - Chapada Diamantina - Bahia - BRASIL. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 157–167, 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG196811>
- RODRIGUES JUNIOR, J. C.; PAIVA, A. L. R. de; MOTTERAN, F.; OLIVEIRA, L. M. M. de; SILVA FILHO, J. A. da; PESSOA, J. O. Variância de parâmetros de qualidade da água e análise de agrupamentos na bacia hidrográfica do rio Goiana, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 3013-3031, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3013-3031>
- SALES, F. de L. O desenvolvimento econômico de Caxias do Sul na perspectiva do acervo do Museu Municipal. In: SEMINTUR, 4., 2006, Caxias do Sul. **Anais [...]**. Caxias do Sul: SeminTUR, 2006. p. 1-13.
- SANT'ANA, A. C.; VITAL, M. J. S.; SILVA, H. E. B. Influência da urbanização na qualidade da água do Rio Branco e afluentes no município de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, e6, 2019. <https://doi.org/10.21168/reg.a.v16e6>
- SHANMUGASUNDHARAM, A.; AKHINA, S. N.; ADHITHYA, R. P.; SINGH, D. Satheesh Herbert; KRISHNAKUMAR, S. Water quality index (WQI), multivariate statistical and GIS for assessment of surface water quality of Karamana river estuary, west coast of India. **Total Environment Research Themes**, v. 6, n. 100031, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100031>
- SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Esgoto. 2023. Disponível em: <https://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10043>. Acesso em: 1 jun. 2023.
- SCHNEIDER, V. E. (org.). **Ampliação de rede de monitoramento quali-quantitativo das bacias urbanas do Município de Caxias do Sul**: relatório conjuntura. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2014. 211 p.
- SIA. Sistema de Informação Ambiental. Universidade de Caxias do Sul. 2023. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- SOUZA, G. S. de; CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N. Análise espacial de similaridade da qualidade da água de um rio localizado no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 4, p. 38-49, 2021. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v13i4.319>
- TAVARES, B. S. Qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Una - Pernambuco. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2014. Disponível em: http://www.condepefidem.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=78673&folderId=141847&name=DLFE-11996.pdf . Acesso em: 23 jul. 2015
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>
- VICINI, L.; SOUZA, A. M. Análise Multivariada da Teoria à Prática. Santa Maria: Biblioteca Central da Ufsm, 2005. 215 p.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.
- YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 551-556, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000500003>

Recebido em: 11/09/2023

Aceito para publicação em: 26/03/2024