

# Avaliação da qualidade da água do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul, por parâmetros físico-químicos e pelo teste de *Allium cepa*

*Quality water assessment of the Matadouro Stream, Ijuí, Rio Grande do Sul, by physicochemical parameters and the Allium cepa test*

Bruna Kopezinski Jacoboski<sup>1</sup> , Juliana Fachineto<sup>1\*</sup> 

## RESUMO

Os recursos hídricos urbanos são de grande importância para a manutenção do ecossistema, e sua qualidade precisa ser avaliada para identificar possíveis fontes de contaminação. O presente trabalho teve como objetivo utilizar o teste de *Allium cepa* L. e análise físico-química na avaliação da qualidade da água do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul. As coletas foram realizadas em quatro locais do arroio urbano e as amostras usadas para análises físico-químicas e teste de *Allium cepa*. Avaliaram-se os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fósforo total, nitrogênio amoniacal, sólidos suspensos e surfactantes, índice de estado trófico, índice mitótico e aberrações cromossômicas. Com relação às análises físico-químicas, o ponto 2 foi o que apresentou mais alterações, enquanto no ponto 1 (nascente) os indicadores demonstraram melhor qualidade da água. O índice de estado trófico apresentou valor médio de 59,17, classificando o arroio em grau eutrófico. A análise do índice mitótico mostrou que todos os pontos tiveram estimulação da proliferação celular. As aberrações cromossômicas foram verificadas em todas as amostras, porém mais elevadas no ponto 4. O teste *Allium cepa* demonstrou possível potencial citotóxico e genotóxico e, associado aos parâmetros físico-químicos, revelou ser boa ferramenta de avaliação da qualidade da água. Este estudo mostrou que o arroio urbano está impactado pelas ações do entorno, principalmente aquelas relacionadas aos poluentes de origem doméstica.

**Palavras-chave:** arroio urbano; biomonitoramento; genotoxicidade; qualidade da água.

## ABSTRACT

Urban water resources are of great importance for the maintenance of the ecosystem and their quality needs to be evaluated to identify possible sources of contamination. The present study aimed to use the *Allium cepa* L. test and physical-chemical analysis to assess the water quality of stream Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul. The collections were carried out in four places of the urban stream and the samples used for physical-chemical analysis and *Allium cepa* test. The following parameters were evaluated: biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total phosphorus, ammoniacal nitrogen, suspended solids and surfactants, trophic state index, mitotic index, and chromosomal aberrations. With regard to physical-chemical analysis, point 2 had the most changes, while point 1 (spring), the indicators showed better water quality. The trophic state index presented an average value of 59.17, classifying the stream in eutrophic degree. The mitotic index analysis showed that all points had stimulation of cell proliferation. Chromosomal aberrations were verified in all samples, however, higher in point 4. The *Allium cepa* test showed possible cytotoxic and genotoxic potential and, associated with the physical-chemical parameters, proved to be a good tool for assessing water quality. This study indicated that the urban stream is impacted by the surrounding actions, especially those related to domestic pollutants.

**Keywords:** urban stream; biomonitoring; genotoxicity; water quality.

<sup>1</sup>Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Ijuí (RS), Brasil.

\*Autor correspondente: julianafachineto@yahoo.com.br

Conflitos de interesse: os autores informam que não há conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum

Recebido: 04/11/2020 - Aceito: 17/08/2021 - Reg. ABES: 20200388

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos exercem um papel fundamental para a vida de todos os seres vivos e podem ser usados com diversas finalidades: na geração de energia, como fonte de abastecimento, na agricultura, pecuária, aquicultura e navegação (NELSON, 2017) e na paisagem (ALLEN *et al.*, 2020). No que se refere a ambientes aquáticos urbanos, estes funcionam como corredores ecológicos, abrigando fauna e flora locais, além de serem importantes para a saúde humana e o bem-estar social (GREGORY *et al.*, 2021). A indiferença em relação aos valores ecológicos dos ecossistemas aquáticos urbanos, porém, tornou-os mais canais de fluxo de água para o despejo de efluentes e resíduos do que partes valiosas da infraestrutura verde urbana, que é de vital importância ao ecossistema (MORSCH; MASCARÓ; PANDOLFO, 2017).

A crescente urbanização tem intensificado a contaminação dos corpos d'água e vem despertando grande preocupação no mundo todo. As ações antrópicas causam significativos problemas ambientais, e a poluição dos recursos hídricos é a mais preocupante por ser essencial às funções vitais dos seres vivos. O despejo de efluentes domésticos, industriais, deflúvio superficial agrícola e urbano compromete a qualidade da água e causa um desequilíbrio ecológico de difícil controle (BASSEM, 2020; MORSCH; MASCARÓ; PANDOLFO, 2017; RASHID; MANZOOR; MUKHTAR, 2018). Tais contaminantes alteram os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água, como na redução do oxigênio dissolvido, por exemplo, necessário para manter os processos metabólicos de produção de energia e reprodução dos organismos vivos (NÓBREGA *et al.*, 2014).

O aumento da poluição ambiental e a preocupação com o bem-estar da população levou pesquisadores a desenvolverem análises com diferentes organismos teste. Uma espécie é considerada organismo teste quando é facilmente manipulada e cultivada em laboratório, além de oferecer resposta efetiva rápida (RUBINGER, 2009). A busca por sistemas teste com resultados rápidos e expressivos mostrou que plantas *in vivo*, como *Allium cepa* L., fornecem dados para os efeitos nocivos de poluentes, os quais são utilizados no monitoramento ambiental (TEDESCO; LAUGHINGHOUSE IV, 2012).

Desenvolvido por Albert Levan (1938), o teste de *A. cepa* é considerado um instrumento vantajoso por diversas razões: facilidade de armazenamento e manuseio, baixo custo e presença de cromossomos grandes e em número reduzido ( $2n=16$ ) (FISKESJÖ, 1985). Isso permite melhor visualização dos danos, além de apresentar resultados semelhantes a outros testes, como os realizados com ratos *in vivo* e humanos (TEDESCO; LAUGHINGHOUSE IV, 2012). O procedimento de avaliação de aberrações cromossômicas (AC) em raízes de *A. cepa* é validado pelo Programa Internacional de Segurança Química (IPCS) e pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) como um eficiente teste para a análise e o monitoramento da genotoxicidade de substâncias poluentes e é utilizado em diversos estudos dessa natureza (BATISTA *et al.*, 2016; FARIA *et al.*, 2017; GOMES *et al.*, 2015; TEDESCO; LAUGHINGHOUSE IV, 2012).

Agentes genotóxicos interagem com o ácido desoxirribonucleico (DNA), podendo causar alterações em sua estrutura ou função. Essas mudanças podem passar a ser mutações, que são a origem de toda a diversidade genética, porém também podem apresentar um potencial danoso (VALENTE *et al.*, 2017). Embora ocorram mutações espontâneas, algumas são induzidas pela exposição a diversos agentes, e uma das formas de exposição é por meio da água contaminada.

A utilização integrada dos bioensaios com as análises físico-químicas pode fornecer dados mais precisos e permitir melhor entendimento das alterações ou interações que ocorrem na natureza associadas às questões ambientais

(PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Além disso, o índice do estado trófico (IET) também tem sua importância na avaliação dos recursos hídricos; ele tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2019).

O presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água do Arroio Matadouro mediante testes toxicológicos, utilizando o organismo teste *A. cepa* quanto à citotoxicidade e genotoxicidade e os parâmetros físico-químicos: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrogênio amoniacal, sólidos suspensos, surfactantes e IET. Essas análises serão importantes para desenvolver ações que minimizem os danos ao ambiente e a todos os seres vivos que ali vivem.

## METODOLOGIA

### Coleta de amostras de água do Arroio Matadouro

O município de Ijuí, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, está à latitude 28°23'16" sul e à longitude 53°54'53" oeste. Sua população, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2019, é de 83.475 habitantes; é o município mais populoso da região noroeste do Estado (IJUÍ, 2020). A hidrografia do município é determinada pelos rios Ijuí, Potiribu e Conceição (IJUÍ, 2020). Um dos contribuintes urbanos, o Arroio Matadouro, tem sua nascente localizada na cidade, em um terreno sem ocupação. Na maior parte de seu curso, esse arroio sofre pressões ambientais de origem urbana, reveladas pela presença de resíduos sólidos e pelas canalizações de efluentes domésticos que seguem até o córrego. Em seu trecho final, percorre a área rural, desaguando no Rio Potiribu. A extensão total do Arroio Matadouro é de 8 quilômetros (IJUÍ, 2020).

A coleta da água do Arroio Matadouro foi realizada no dia 17 de março de 2019 no turno da tarde de forma manual, com o auxílio de um recipiente plástico para a captação. A temperatura, no horário da coleta, era de 25°C, sem precipitação. Dois dias antes tinha havido precipitação de 43 milímetros. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos (2 L) e de vidro âmbar (1 L). Os frascos foram devidamente identificados e acondicionados em caixas térmicas. Para a coleta da água, foram amostrados quatro pontos ao longo do arroio (Figura 1).

O curso do Arroio Matadouro possui características similares em todos os pontos de coleta, como ambiente lótico e ausência parcial de área de vegetação ciliar, caracterizada como esparsa.

O ponto 1 está localizado próximo à nascente (ou na nascente), na Rua Albino Brendler, Bairro Jardim. Trata-se de um terreno urbano com grama rasteira, e, ao redor da nascente, há a presença de herbáceas de maior altura. No fundo do terreno há uma coqueira e cavalos, que, provavelmente, são os responsáveis pelo controle das plantas herbáceas presentes. Não há indícios de que a nascente seja utilizada para dessedentação animal. O imóvel encontra-se para comercialização.

O ponto 2 está localizado na Rua Vitorio Muraro com Alberto Schmidt, no Bairro Jardim. A coleta foi realizada próximo a uma pequena ponte com tráfego de veículos. O córrego possui alguns trechos canalizados, e o fundo apresenta rochas e areia escura. Há residências nas duas margens do córrego à distância média de 3 a 10 m, e é possível visualizar a presença de canalização,



**Figura 1** - A) Mapa da cidade de Ijuí com a localização dos pontos de coleta; B) Ponto 1; C) Ponto 2; D) Ponto 3; E) Ponto 4.

provavelmente de esgoto residencial, que segue até o córrego e resíduos sólidos nas margens e dentro do arroio.

O ponto 3 está localizado na Rua Benjamin Barriquelo com Adir Epaminondas Schirmer, no Bairro Quinze de Novembro. A coleta foi realizada próximo à ponte. O fundo do arroio possui rochas, areia, terra e vegetação. Há tráfego intenso de automóveis e de pessoas. As residências ficam às margens do córrego à distância média de 3 a 10 m. Embora possua menos residências que o ponto 2, nele também se observa canalização, possivelmente de esgoto residencial. O córrego possui algumas partes canalizadas. Observou-se, ainda, grande quantidade de resíduos sólidos nas margens, dentro do córrego e na vegetação.

O ponto 4 está localizado na Rua 13 de maio, Bairro Colonial, antes da estação de tratamento de esgoto (ETE), próximo da foz com o Rio Potiribu. A coleta foi realizada perto da ponte, em local de transição entre os perímetros urbano e rural. Há residências às margens do arroio. A região apresenta assoreamento e acúmulo de resíduos sólidos. Ao lado do córrego existe uma área de campo e a presença de cavalos, não havendo indícios de que os animais utilizem o arroio para dessedentação. O fundo é composto de rochas, areia e lama.

Os locais de coleta foram georreferenciados por intermédio de sistema de posicionamento global (GPS), conforme demonstrado na Tabela 1.

## Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas pela Central Analítica do Laboratório de Análises Ambientais e Alimentos da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). Os parâmetros físico-químicos

**Tabela 1** - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

Ponto amostral	Latitude (S)	Longitude (W)
Ponto 1	28°23'16,8"	53°53'50,1"
Ponto 2	28°22'50,9"	53°53'52,5"
Ponto 3	28°22'14,7"	53°54'17,1"
Ponto 4	28°22'05,1"	53°54'45,3"

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

analisados foram: DBO, DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, sólidos suspensos totais e surfactantes. O laboratório segue os protocolos de análises estabelecidos pelo órgão ambiental estadual (Fundação Estadual de Meio Ambiente — Fepam) (RICE; BAIRD; EATON, 2017). Com base nos valores de fósforo total, foi calculado o IET para rios, com a seguinte equação, de acordo com Lamparelli (2004):

$IET = 10 \cdot (6 - ((0,42 - 0,36 \cdot (\ln PT) / \ln 2)) - 20$ , em que o fósforo total (PT) é expresso em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

Com base nos resultados dos IET de cada ponto, gerou-se média aritmética simples. A classificação do estado trófico foi realizada segundo Lamparelli (2004).

A Resolução n° 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi utilizada como base para a comparação dos parâmetros físico-químicos avaliados de acordo com o estabelecido para águas doces Classe 2. A escolha da Classe 2 para este trabalho leva em consideração os usos a que se destina, bem como o enquadramento dos corpos hídricos do município pelo Comitê de Bacias Hidrográficas (Bacia do Rio Ijuí) (SEMA, 2012).

## Teste *Allium cepa*

As sementes de *A. cepa* foram colocadas em recipientes gerbox forrados com papel filtro umedecido com água destilada e mantidos à temperatura ambiente para germinação. Quando as raízes atingiram 0,5 cm de comprimento, foi adicionada a água coletada dos pontos de 1 ao 4, um ponto para cada gerbox, permanecendo por 24 horas (um gerbox ficou em água destilada como controle). As raízes foram coletadas e fixadas em solução Carnoy 3:1 por 24 horas. A seguir, foram retiradas do fixador e armazenadas em etanol 70% sob refrigeração até a análise das lâminas.

Para o preparo das lâminas, as radículas foram lavadas em água destilada e hidrolisadas em HCl 1N por 5 min à temperatura ambiente. Após a hidrólise, o meristema da parte apical da raiz foi seccionado sobre lâmina de vidro, corado com orceína acética 2%, seguindo a técnica de esmagamento (GUERRA; SOUZA, 2002). As células foram analisadas imediatamente e as imagens capturadas com o uso de microscópio óptico com sistema fotográfico (Olympus BX40) em objetiva 40X.

Foram utilizadas ao menos oito radículas para cada ponto de coleta, totalizando 4 mil células por ponto amostrado. A análise de cada lâmina foi realizada com o conhecimento do ponto amostral, após a avaliação de cinco campos escolhidos de forma aleatória na lâmina. Em cada campo, contabilizaram-se as células presentes quanto à fase do ciclo celular (interfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase) e às aberrações observadas: pontes cromossômicas em anáfase e telófase, cromossomos retardatários ou adiantados em metáfase e anáfase, quebra cromossômica (fragmentos acêntricos), aderência cromossômica durante a disjunção, botões nucleares, células binucleadas e micronúcleos em interfase e

células em apoptose. As aberrações foram avaliadas levando-se em consideração o comportamento anormal dos cromossomos ao longo de todo o ciclo celular. O índice mitótico (IM) foi calculado pela razão do número de células em divisão pelo número total de células por ponto ( $IM = \text{número de células em mitose} / \text{número total de células} \times 100$ ). Das AC e celulares encontradas foram calculadas as porcentagens de aberrações para cada ponto ( $AC = \text{número de células com aberrações} / \text{número total de células} \times 100$ ) (DOURADO *et al.*, 2017). A análise estatística para comparar os valores de IM e AC entre os pontos de coleta foi feita pelo teste de  $\chi^2$  ( $p < 0,05$ ), com o *software* estatístico BioEstat 5.0 (AYRES *et al.*, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas das amostras de água são apresentados na Tabela 2. A Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água, organiza as águas doces em Classes 1, 2, 3 e 4. A Classe 1 é destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, irrigação de hortaliças que serão consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rente ao solo e que sejam ingeridas cruas sem a remoção da película; e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas. Já a Classe 4 é destinada somente à navegação e à harmonia paisagística. Essa classificação leva em consideração uma série de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e estabelece limites mínimos e máximos para eles. Os parâmetros podem ser alterados conforme ocorre o lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, o controle inadequado de efluentes industriais e a lixiviação de áreas agrícolas (AZHAR *et al.*, 2015; BRITTO *et al.*, 2018).

A DBO é um parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica, pois é ela que vai determinar a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Esse parâmetro variou de abaixo do limite de quantificação (ponto 1) a 13,51 mg

$O_2.L^{-1}$  (ponto 2). O aumento da concentração de DBO no ponto 2 enquadrava o arroio como Classe 3 conforme a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, e a redução da concentração nos pontos 1 (abaixo do limite de quantificação), 3 (1,39  $mg O_2.L^{-1}$ ) e 4 (2,39  $mg O_2.L^{-1}$ ) classifica-o como Classe 1. Valores em concentrações elevadas são provocados por despejos de origem principalmente orgânica (ANDA *et al.*, 2018).

O ponto 2 apresentou o maior valor de DQO entre todos os pontos analisados (18,65  $mg O_2.L^{-1}$ ), e o ponto 1 o menor ( $< LQ$ ). Embora seu valor não seja regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005, a DQO é um parâmetro importante para estudos sobre a qualidade da água. Ela é usada para indicar o consumo de oxigênio durante a oxidação química da matéria orgânica (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). O ponto 2 apresentou o maior valor de DBO e DQO, mostrando ser um ponto de descarga de origem orgânica (ANDA *et al.*, 2018). Um fator que pode ter contribuído para esse resultado é a presença de residências às margens do córrego com canalização, possivelmente, de efluentes domésticos. Não foi observada a presença de indústrias nos arredores desse ponto de coleta.

O fósforo é essencial para o crescimento de organismos. Sua presença na água pode estar ligada à dissolução de compostos do solo, à decomposição da matéria orgânica, a esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). O ponto 1 apresentou o menor valor (0,05  $mg P.L^{-1}$ ), estando de acordo com a legislação e enquadrando o arroio na Classe 1. Os pontos 2 (0,18  $mg P.L^{-1}$ ), 3 (0,16  $mg P.L^{-1}$ ) e 4 (0,19  $mg P.L^{-1}$ ) apresentaram valores acima dos padrões exigidos, enquadrando os três pontos na Classe 3. Teores elevados de fósforo em corpos d'água estão associados ao sedimento de áreas agrícolas adubadas ou ao lançamento de esgotos. Nesses pontos, não se verificam áreas agricultáveis, portanto é mais provável que os valores de fósforo estejam associados à canalização, possivelmente, de efluentes domésticos, resíduos sólidos e das rochas presentes no fundo do arroio. Com o valor do fósforo total, foi calculado o IET para rios. Este teve seu valor mais baixo no ponto 1 e o mais alto no ponto 4 (Tabela 2). A média dos quatro pontos para o IET foi de 59,17, classificando o Arroio Matadouro como eutrófico, de acordo com os limites estabelecidos por Lamparelli (2004). Corpos d'água com essa classificação possuem produtividade alta em relação às condições naturais, com diminuição da transparência, geralmente afetada por atividades antrópicas, e ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água em razão do aumento da concentração de nutrientes e interferências em seus múltiplos usos (CETESB, 2019).

O nitrogênio amoniacal teve seu valor mais baixo no ponto 1 ( $< LQ$ ) e o mais alto no ponto 3 (0,48  $mg N.L^{-1}$ ). Esse parâmetro também está associado a áreas agrícolas e ao despejo de efluentes domésticos. Os limites do parâmetro de qualidade da água referentes ao nitrogênio amoniacal variam em virtude do pH, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Dessa forma, esse parâmetro não pôde ser avaliado, pois o pH não foi analisado, impossibilitando o enquadramento.

A faixa de valores observada nos sólidos suspensos foi de 5,60  $mg.L^{-1}$  (ponto 1) a 26,60  $mg.L^{-1}$  (ponto 3), e o valor mais baixo deve-se ao fato de ser aquele ponto a nascente. O valor mais alto pode ser em razão da falta de vegetação na borda do arroio, fazendo com que a precipitação que antecedeu a coleta lixiviasse material do solo do entorno para o curso d'água. Os sólidos suspensos correspondem à matéria em suspensão presente em águas naturais, e sua principal influência é na diminuição da transparência da água, o que impede a

**Tabela 2** – Análise físico-química das amostras coletadas no Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul, em comparação com valores limitantes estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente para águas de Classe 2.

Parâmetros	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Legislação (CONAMA)
DBO <sub>5</sub> * ( $mg O_2.L^{-1}$ )	< LQ	13,51	1,39	2,39	5
DQO* ( $mg O_2.L^{-1}$ )	< LQ	18,65	9,32	13,05	ND
Fósforo Total ( $mg.L^{-1}$ )	0,05	0,18	0,16	0,19	0,5
Nitrogênio Amoniacal ( $mg.L^{-1}$ )	< LQ	0,43	0,48	0,37	-
Sólidos Suspensos* ( $mg.L^{-1}$ )	5,60	21,20	26,60	24,60	ND
Surfactantes* ( $mg SAAML^{-1}$ )	< LQ	0,65	<LQ	0,14	0,5
IET	54,26	60,91	60,30	61,10	-

LQ – limite de quantificação; DBO<sub>5</sub> – demanda bioquímica de oxigênio; DQO – demanda química de oxigênio; ND – não determinado pela resolução; IET – índice de estado trófico.

\*Os parâmetros são reconhecidos na Rede Metrológica do Rio Grande do Sul pela Norma NBR ISO IEC 17025. Valores de referência conforme Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, e Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.



penetração da luz (FANELA; TAKARINA; SUPRIATNA, 2019). Esse parâmetro não apresenta valor regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Quanto aos surfactantes, eles são indicadores de efluentes domésticos, sendo empregados em materiais de limpeza e higiene (KRUSZELNICKA *et al.*, 2019). O valor mais alto foi 0,65 mg SAAM/L no ponto 2 e, embora não tenha diferido muito da legislação, é importante sua avaliação, pois sua presença em águas torna-se um problema ambiental em razão da formação de espumas e, como consequência, da redução na transferência de oxigênio à biota aquática, além de concentrações acima de 1 mg.L<sup>-1</sup> causarem efeitos tóxicos a ela (COLPANI, 2012).

Todos os parâmetros avaliados para o ponto 1 estão em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação vigente, enquadrando-o na Classe 1. Isso deve-se ao fato de o ponto ser a nascente, e, embora ela não apresente vegetação ciliar nem cercamento para impedir o uso para a dessedentação de animais, tem suas características físico-químicas preservadas.

Os demais pontos enquadram o arroio estudado na Classe 3. O ponto 2, no entanto, foi o que apresentou maiores alterações nos parâmetros avaliados. O que pode ter contribuído para essa classificação é a presença de residências próximas ao arroio nas duas margens, e, consequentemente, o fato de haver despejo de efluentes domésticos e descarte de resíduos sólidos. O local não possui área de preservação permanente (APP) preservada, e a vegetação ciliar varia entre densa e esparsa. Segundo a Lei Federal nº 12.651/2012, a largura mínima da APP para cursos d'água de menos de 10 m de largura é de 30 m. As APP têm como função proteger os corpos hídricos, evitando enchentes, assoreamento e poluição das águas (BRASIL, 2012). O Plano Diretor do município de Ijuí, Lei nº 6.929/2020, é baseado na legislação federal e estadual, mantendo as mesmas medidas.

Conforme a Resolução do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul nº 111/2012, o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí tem como classificação a Classe 2 (SEMA, 2012). O Arroio Matadouro, considerando-se a análise total dos resultados, possivelmente ficaria enquadrado na Classe 3. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, águas de Classe 3 podem ser utilizadas para abastecimento após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais.

Outra análise realizada neste estudo foi o teste de *Allium cepa*. O IM, apresentado na Tabela 3, foi utilizado como parâmetro para avaliar a citotoxicidade das amostras. Os níveis de citotoxicidade podem ser determinados pelo aumento

ou diminuição do IM (BIANCHI; MANTOVANI; MARIN-MORALES, 2015), sendo um indicador importante no monitoramento da poluição ambiental. IM significativamente menores que aqueles do controle podem indicar alterações oriundas da ação de substâncias químicas no crescimento e no desenvolvimento dos organismos expostos, e IM maiores possuem efeito nocivo, levando à proliferação celular desordenada e até mesmo à formação de tecidos tumorais (MOURA *et al.*, 2016).

Em relação à análise do IM, os valores apresentam-se alterados em todas as amostras quando elas são comparadas ao controle, de modo que, para todos os pontos de coleta, houve estimulação do ciclo celular. Os resultados mostraram que o ponto 3 apresentou o maior número de células em divisão (8,18%) e o ponto 4 o menor número de células em divisão (6,45%). Todos os pontos mostraram-se significativos quando comparados com o controle. Tais resultados conferem ao arroio potencial citotóxico.

Relacionando esses dados com a análise físico-química, o aumento do IM no ponto 3 não era esperado, pois o ponto 2 foi o que apresentou mais alteração nos parâmetros analisados. O que pode ter influenciado nesse resultado é o material orgânico, como o nitrogênio, que apresentou valor elevado (0,48 mg N.L<sup>-1</sup>) em relação aos demais pontos. Essa substância é abundante em esgotos domésticos e pode ser a causa da eutrofização (PREISNER; NEVEROVA-DZIOPAK; KOWALEWSKI, 2021). Outro fator é o grande fluxo de carros no ponto 3, e, com as precipitações, substâncias poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis podem ter sido carregadas para o arroio e contribuído para essa alteração no IM (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2008).

Os resultados observados nesta avaliação são semelhantes aos encontrados em outros estudos. Rodrigues, Dalzochio e Gehlen (2016) analisaram a nascente e a foz do Rio da Ilha no município de Taquara (RS) por intermédio do bioensaio com *A. cepa* e observaram aumento significativo no IM de ambos os pontos amostrados em comparação ao grupo controle. Alvim *et al.* (2011) realizaram teste com *A. cepa* para avaliar o efluente bruto e tratado de duas indústrias têxteis localizadas no sul de Minas Gerais; ambas as amostras apresentaram maior IM na concentração de 100% (v/v). O mesmo foi observado por Gomes *et al.* (2015) ao analisarem o Rio Guandu, no Rio de Janeiro, para o qual foram escolhidos dois pontos de coleta em duas épocas distintas (estação chuvosa e estação de estiagem); um dos locais apresentou IM maior que o observado no controle negativo nas duas estações, enquanto o outro local somente na estação chuvosa.

Para a genotoxicidade, foram avaliadas as AC e celulares nas células de *A. cepa*, conforme apresentado na Tabela 4. Foram observadas anáfases com pontes cromossômicas, metáfases e anáfases com cromossomos retardatários adiantados e quebras, aderência cromossômica, botão nuclear, células binucleadas, micronúcleos e células em apoptose (Figura 2). As AC caracterizam-se por alterações no número total ou na estrutura dos cromossomos, que podem vir a ocorrer pela exposição a fatores físicos ou químicos (VALENTE *et al.*, 2017). A análise dos diferentes tipos de AC em todas as fases do ciclo celular, proposta inicialmente por Fiskesjö (1985), permite uma avaliação abrangente e precisa, pois promove melhor investigação das ações dos agentes diluídos quanto a seus efeitos clastogênicos e aneugênicos no DNA. Dessa forma, AC como pontes e quebras cromossômicas são indicadores de uma ação clastogênica, enquanto as perdas, atrasos e aderências cromossômicas resultam de efeitos aneugênicos (NEFIC *et al.*, 2013; TEDESCO; LAUGHINGHOUSE IV, 2012).

**Tabela 3** - Índice mitótico dos pontos de coleta do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul.

Ponto amostral	Células em divisão	Células em interfase	Total	IM%
Controle	204	3796	4000	5,1
Ponto 1	307	3693	4000	7,68*
Ponto 2	292	3708	4000	7,3*
Ponto 3	327	3673	4000	8,18*
Ponto 4	258	3752	4000	6,45*

IM: índice mitótico.

Valores de IM seguidos de \* diferem estatisticamente do controle pelo teste do  $\chi^2$ , 5%.

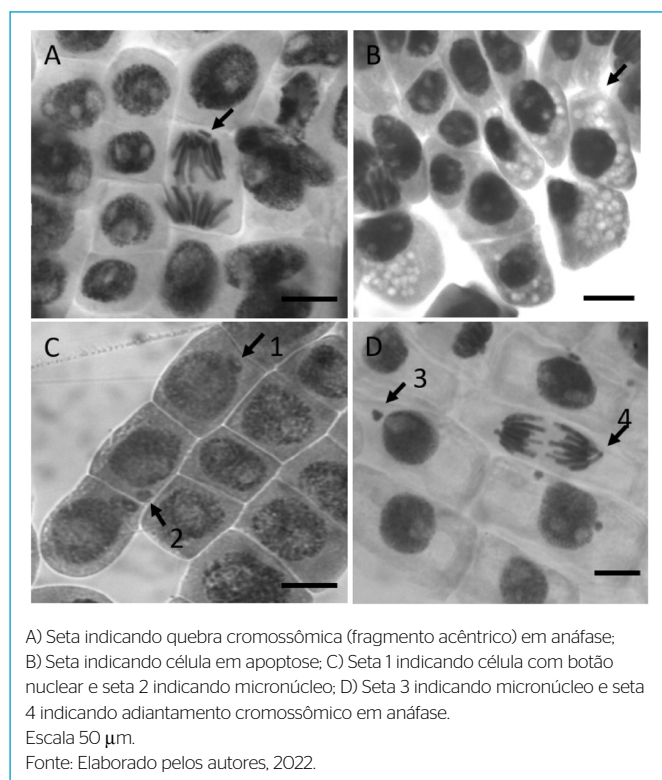
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

**Tabela 4 - Aberrações cromossômicas observadas nos pontos de coleta no Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul.**

Ponto amostral	Número total de células	Aberrações cromossômicas						AP	% de aberrações cromossômicas
		Mitóticas			Interfásicas				
		PC	CR	AC	BN	CB	MN		
Controle	4000	0	0	0	0	0	2	0	0,05
Ponto 1	4000	0	0	0	0	0	3	0	0,075
Ponto 2	4000	3	8	0	2	0	7	5	0,625*
Ponto 3	4000	2	5	2	0	3	9	0	0,525*
Ponto 4	4000	6	12	2	0	1	9	11	1,025*
Total	20000	11	25	4	2	4	30	16	

Porcentagens seguidas de \* diferem estatisticamente do controle pelo teste do  $\chi^2$  5%; PC - pontes cromossômicas em anáfases; CR - metáfases e anáfases com cromossomos retardatários, adiantados ou quebra; AC - aderência cromossômica; BN - botão nuclear; CB - células binucleadas; MN - micronúcleos; AP - apoptoses.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.



**Figura 2 - Aberrações cromossômicas observadas em células de *Allium cepa* tratadas com amostras de água do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul.**

Em relação às aberrações cromossômicas, todos os pontos mostraram-se significativos quando comparados com o controle ( $\chi^2 = 58,268$ ;  $p < 0,0001$ ), com exceção do ponto 1 ( $p = 0,9048$ ) (Tabela 4). Os resultados mostram que o ponto 4 (AC = 1,025%) apresentou o maior número de AC, embora todos mostrem um número de aberrações maior que o controle. O ponto 4 apresentou maior valor de AC, mas não associado a aumento do IM (6,45%). O que poderia justificar parte das AC encontradas é uma maior concentração de agentes tóxicos, provavelmente por carreamento de substâncias ocasionados pelo fluxo da água em direção à foz. Os agentes genotóxicos promovem lesões primárias no DNA, por exemplo, oxidação e dimerização de bases, adutos de DNA, entre outras.

Essas lesões podem ter três destinos: reparo, alterações irreversíveis e morte celular (BRENERMAN; ILLUZZI; WILSON III, 2014; HENG *et al.*, 2013; SULCZEWSKI *et al.*, 2014).

Segundo Valente *et al.* (2017), as AC são importantes eventos decorrentes das ações genotóxicas de agentes químicos encontrados em ambientes aquáticos contaminados, aos quais os organismos, até mesmo o homem, estão expostos. Os danos celulares gerados podem ter relação com outros fatores, como a contaminação do meio por agrotóxicos, poluentes atmosféricos e materiais orgânicos e inorgânicos, originários, basicamente, do escoamento das águas da chuva (CIAPPINA *et al.*, 2017).

Entre as AC observadas, as mais frequentes foram células com micronúcleos (30 células), sendo os pontos 3 e 4 os que mais apresentaram esse dano. Nas metáfases e anáfases com cromossomos retardatários adiantados ou quebra (25 células) e células em apoptose, os maiores valores foram encontrados no ponto 4. Os micronúcleos (MN) são considerados eficazes para analisar o efeito mutagênico promovido por compostos químicos. Eles resultam de danos reparados indevidamente ou não reparados. Assim, o MN surge de alguma AC como quebra ou perda cromossômica (BOLOGNESI *et al.*, 2017).

Oliveira, Voltolini e Barbério (2011) analisaram o potencial mutagênico na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé (SP), Brasil, utilizando o teste de *A. cepa*. Foram coletadas amostras em duas épocas distintas (estação chuvosa e estação de estiagem), e a estação chuvosa revelou alto potencial mutagênico quando comparada ao controle negativo na frequência de anomalias, indicando a presença de contaminantes que provocaram genotoxicidade. A amostra da estação de estiagem teve diminuição dos efeitos genotóxicos em relação à estação chuvosa, mas, quando comparada ao controle negativo, houve aumento das anomalias.

No que se refere a arroios urbanos, diversos estudos foram realizados para avaliar os impactos ambientais utilizando indicadores de qualidade como parâmetros físico-químicos e o teste de *A. cepa* e revelaram alterações semelhantes nos indicadores. Athanásio, Prá e Rieger (2014) avaliaram os arroios urbanos Lajeado, Preto e Pedras no município de Santa Cruz do Sul (RS). Segundo os autores, os três arroios sofrem impactos pela descarga de efluentes domésticos e industriais em seu percurso em área urbana, e foram identificadas alterações nos parâmetros físico-químicos e aumento

da frequência de AC em todas as amostras avaliadas, bem como alterações no IM em algumas delas. As águas do Arroio Água Boa, em Dourados (MS), também demonstraram atividade citotóxica e genotóxica pelo teste de *A. cepa* relacionada à presença de metais pesados, como cádmio, cobre, chumbo e níquel e do inseticida tiametoxame (DOURADO *et al.*, 2017). No município de Alta Floresta (MT), as águas superficiais urbanas recebem efluentes domésticos e industriais e também apresentaram alterações no IM e aumento de AC nas amostras avaliadas (GALVÃO *et al.*, 2015). Para a Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, nenhum estudo com esta abordagem foi publicado até o momento, o que reforça a importância de avaliar os contribuintes dessa bacia.

Ainda que ensaios citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos não identifiquem os poluentes presentes nas amostras de água, eles são capazes de diagnosticar os possíveis efeitos desses poluentes, o que não é possível somente utilizando análises físico-químicas. O teste de *A. cepa* demonstra ser uma ferramenta de monitoramento ambiental barata e rápida, que permite identificar riscos à saúde em amostras de água, sendo adequado para o monitoramento ambiental.

## CONCLUSÕES

Diante de nossos resultados, é possível verificar que as amostras de água do Arroio Matadouro, Ijuí (RS), coletadas e analisadas em diferentes pontos, apresentaram alteração dos parâmetros físico-químicos em comparação ao estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005, em razão, provavelmente, do lançamento de poluentes de origem doméstica diretamente nos cursos d'água. O índice de estado trófico demonstra haver possíveis implicações na qualidade da água. O teste de *A. cepa* indicou potencial citotóxico e também genotóxico. Este trabalho representa um estudo pioneiro na região e serve como ferramenta de suporte ao controle da qualidade da água, a fim de auxiliar em ações e medidas para futura recuperação.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Jacoboski, B.K.: Conceituação, Metodologia, Investigação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Escrita Primeira Redação e Edição. Fachinetto, J.F.: Conceituação, Metodologia, Investigação, Análise Formal, Supervisão, Escrita – Revisão e Edição.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; DUKES, M.D.; SNYDER, R.L.; KJELGREN, R.; KILIC, A. A review of landscape water requirements using a multicomponent landscape coefficient. *American Society and Biological Engineers*, v. 63, n. 6, p. 2039 – 2058, 2020.
- ALVIM, L.B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L.A.; LIMA, C.A.A.; BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, n. 2, p. 255 – 265, 2011.
- ANDA, J.; LÓPEZ, A.L.; GARCÍA, E.V.; AVINÁ, K.V. High-strength domestic wastewater treatment and reuse with onsite passive methods. *Water*, v. 10, p. 99 – 113, 2018.
- ATHANÁSIO, C.G.; PRÁ, D.; RIEGER, A. Water quality of urban streams: the *Allium cepa* seeds/seedlings test as a tool for surface water monitoring. *The Scientific World Journal*, v. 2014, n. 1, p. 1 – 7, 2014.
- AYRES, M.; AYRES JUNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.A.S. *Bioestat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, 2007. 364 p.
- AZHAR, S.C.; ARIS, A.Z.; YUSOFF, M.K.; RAMLI, M.F.; JUAHIR, H. Classification of river water quality using multivariate analysis. *Procedia Environmental Sciences*, v. 30, p. 79 – 84, 2015.
- BASSEM, S.M. Water pollution and aquatic biodiversity. *Biodiversity International Journal*, v. 4, n. 1, p. 10 – 16, 2020.
- BATISTA, N.J.C.; CAVALCANTE, A.A.C.M.; OLIVEIRA, M.G.; MEDEIROS, E.C.N.; MACHADO, J.L.; EVANGELISTA, S.R.; DIAS, J.F.; SANTOS, C.E.I.; DUARTE, A.; SILVA, J. Genotoxic and mutagenic evaluation of water samples from a river under the influence of different anthropogenic activities. *Chemosphere*, v. 164, p. 134 – 141, 2016.
- BIANCHI, J.; MANTOVANI, M. S.; MARIN-MORALES, M. A. Analysis of the genotoxic potential of low concentrations of Malathion on the *Allium cepa* cells and rat hepatoma tissue culture. *Journal of Environmental Sciences*, v. 36, p. 102 – 111, 2015.
- BOLOGNESI, C.; BRUZZONE, M.; CEPPI, M.; KIRSCH-VOLDERS, M. The lymphocyte cytokinesis block micronucleus test in human populations occupationally exposed to vinyl chloride: a systematic review and meta-analysis. *Mutation Research*, v. 774, p. 1 – 11, 2017.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, 16 mai. 2011.
- BRENERMAN, B.M.; ILLUZZI, J.L.; WILSON III, D.M. Base excision repair capacity in informing healthspan. *Carcinogenesis*, v. 35, n. 12, p. 2643 – 2652, 2014.

- BRITTO, F.B.; VASCO, A.N.; NETTO, A.O.A.; GARCIA, C.A.B.; MORAES, G.F.O.; SILVA, M.G. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. *Brazilian Journal of Water Resources*, v. 23, n. 28, 2018.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo de 2018*. São Paulo: CETESB, 2019.
- CIAPPINA, A.; FERREIRA, F.; PEREIRA, I.; SOUSA, T.; MATOS, F.; MELO-REIS, P.; GONÇALVES, P.; BAILÃO, E.; ALMEIDA, L. Oxicity of *Jatropha Curcas* L. Latex in *Allium cepa* test. *Bioscience Journal*, v. 33, n. 5, p. 1295 - 1304, 2017.
- COLPANI, G.L. *Preparação e caracterização de adsorventes para a remoção de surfactantes aniônicos em águas residuárias*. 2012. 109 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2012.
- DOURADO, P.L.R.; ROCHA, M.P.; ROVEDA, L.M.; RAPOSO JÚNIOR, J.L.; CÂNDIDO, L.S.; CARDOSO, C.A.L.; MORALES, M.A.M.; OLIVEIRA, K.M.P.; GRISOLIA, A.B. Genotoxic and mutagenic effects of polluted surface water in the midwestern region of Brazil using animal and plant bioassays. *Genetics and Molecular Biology*, v. 40, n. 1, p. 123 -133, 2017.
- FANELA, M.; TAKARINA, N.; SUPRIATNA, S. Distribution of total suspended solids (TSS) and chlorophyll-a in Kendari Bay, Southeast Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1217, p. 012150, 2019.
- FARIA, M.L.C.; COSTA, F.M.; SILVA, F.C.; BOSSO, R.M.V. Potencial de citotoxicidade e mutagenicidade das águas do Rio Jaru, estado de Rondônia, em células de *Allium cepa*. *Gaia Scientia*, v. 11, p. 104 -114, 2017.
- FISKESJÖ, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*, v. 102, n. 1, p. 99 -112, 1985.
- GALVÃO, M.; MIRANDA, D.P.; COSTA, G.M.; SILVA, A.B.; KARSBURG, I.V. Potencial mutagênico em águas coletadas em diferentes pontos no perímetro urbano no município de Alta Floresta - MT através do teste *Allium* (*Allium cepa*). *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 21, p. 2.373 - 2.383, 2015.
- GOMES, J.V.; TEIXEIRA, J.T.S.; LIMA, V.M.; BORBA, H.R. Induction of cytotoxic and genotoxic effects of Gandu River waters in the *Allium cepa* system. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, n. 1, p. 48 - 58, 2015.
- GREGORY, A.; SPENCE, E.; BEIER, P.; GARDING, E. Toward best management practices for ecological corridors. *Land*, v. 10, n. 1, p. 140 -164, 2021.
- GUERRA, M.; SOUZA, M.J. *Como observar cromossomos*. Ribeirão Preto: Ed. Funpec, 2002. 131 p.
- HENG, H.; LIU, G.; STEVENS, J.B.; ABDALLAH, B.Y.; HORNE, S.D.; YE, K.; BREMER S.; CHOWDHURY, S.K.; YE, C.J. Karyotype heterogeneity and unclassified chromosomal abnormalities. *Cytogenetic and Genome Research*, v. 3, n. 57, p. 139 -144, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Panorama Censo 2010 - Ijuí (RS)*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/ijuí/panorama>. Acesso: 26 mai. 2020.
- IJUÍ. *Prefeitura de Ijuí*. Disponível em: [www.ijuí.rs.gov.br](http://www.ijuí.rs.gov.br) Acesso: 26 maio 2020.
- IJUÍ. *Lei n° 6.929, de 21 de janeiro de 2020*. Plano Diretor do Município de Ijuí.
- KRUSZELNICKA, I.; GINTER-KRAMARCZYK, D.; WYRWAS, B.; IDKOWIAK, J. Evaluation of surfactant removal efficiency in selected domestic wastewater treatment plants in Poland. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, v. 17, p. 101.007, 2019.
- LAMPARELLI, M.C. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. 2004. 235 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo, 2004.
- LEVAN, A. The effect of colchicine on root mitoses in *Allium*. *Hereditas*, v. 24, p. 471 - 486, 1938.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 3, n. 4, p. 33 - 38, 2002.
- MORSCH, M.R.S.; MASCARÓ, J.J.; PANDOLFO, A. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 4, p. 305 - 321, 2017.
- MOURA, A.G.; SANTANA, G.M.; FERREIRA, P.M.P.; SOUSA, J.M.C.; Peron, A.P. Cytotoxicity of cheese and cheddar cheese food flavorings on *Allium cepa* L. root meristems. *Brazilian Journal of Biology*, v. 76, n. 2, p. 439 - 443, 2016.
- NATARAJAN, A.T. Chromosome aberration: past, present and future. *Mutation Research*, v. 504, n. 1-2, p. 3-16, 2002.
- NEFIC, H.; MUSANOVIC, J.; METOVIC, A.; KURTESHI, K. Chromosomal nuclear alterations in root tip cells of *Allium cepa* L. induced by alprazolam. *Medical Archives*, v. 67, p. 388 - 392, 2013.
- NELSON, R.A.R.R. Da importância dos recursos hídricos e a organização administrativa para sua proteção. *Planeta Amazônia*, v. 9, n. 1, p. 71 - 88, 2017.
- NÓBREGA, M.A.S.; CUNHA, D.A.S.; CABRAL, M.R.P.; SANTIAGO, E.F. Impactos ambientais perceptíveis em ecossistemas urbanos e os índices de qualidade da água. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 18, n. 4, p. 195 - 203, 2014.
- OLIVEIRA, L.M.; VOLTOLINI, J.C.; BARBÉRIO, A. Potencial mutagênico dos poluentes na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, n. 1, p. 90 - 103, 2011.
- PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H.F.; PEREIRA, C.M. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 69 p.
- PREISNER, M.; NEVEROVA-DZIOPAK, E.; KOWALEWSKI, Z. Mitigation of eutrophication caused by wastewater discharge: a simulation-based approach. *Revista Ambiente & Água*, v. 50, p. 413 - 424, 2021.
- RASHID, M.A.U.H.; MANZOOR, M.M.; MUKHTAR, S. Urbanization and its effects on water resources: an exploratory analysis. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, v. 15, n. 1, p. 67 - 74, 2018.
- IJUÍ. Resolução CRH n° 111/2012. Aprova o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí. *Diário Oficial do Estado*, Seção 1, 2012.
- RICE, E.W.; BAIRD, R.B.; EATON, A.D. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017, 1.496 p.



RODRIGUES, G.Z.P.; DALZUCHIO, T.; GEHLEN, G. Uso do bioensaio com *Allium cepa* L. e análises físico-químicas e microbiológicas para avaliação da qualidade da água do Rio da Ilha, RS, Brasil. *Acta Toxicologica Argentina*, v. 24, n. 2, p. 97-104, 2016.

RUBINGER, C.F. —. 2009. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. U090 - Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí.

SULCZEWSKI, F.; MACHADO, A.; CRUZ, I.; PIGATTO, A.; SAGRILLO, M.; KRAUSE, L. Efeitos Genotóxicos do Extrato Aquoso de *Avenca* em Linfócitos Humanos. *Disciplinarum Scientia. Série: Ciências da Saúde*, v. 15, n. 1, p. 11 - 18, 2014.

TEDESCO, S.B.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. Bioindicator of genotoxicity: the *Allium cepa* test. *Intech Open*. 22 p., 2012.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Química Nova*, v. 31, p. 244, 2008.

VALENTE, D.; COSTA-AMARAL, I. C.; CARVALHO, L. V. B.; SANTOS, M. V. C.; CASTRO, V. S.; RODRIGUES, D. R. F.; FALCO, A.; SILVA, C. B.; NOGUEIRA, S. M.; GONÇALVES, E. S.; MOREIRA, J. C.; ANDRÉ, L. C.; TEIXEIRA, L. R.; SARCINELLI, P. N.; SISENANDO, H. A.; OLIVEIRA, M. S.; PERINI, J. A.; MATTOS, R. C. O. C.; LARENTIS, A. L. Uso de biomarcadores de genotoxicidade e expressão gênica na avaliação de frentistas expostos a vapores de gasolina. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 42, p. 2, 2017.