



AVALIAÇÃO INTEGRADA DE PARÂMETROS QUÍMICOS E DA GENOTOXICIDADE DA ÁGUA DE ARROIOS, NO TRECHO INFERIOR DA BACIA DO RIO DOS SINOS, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Gustavo Marques da Costa – markesdakosta@hotmail.com
Universidade Feevale, Laboratório de Biotecnologia Vegetal
ERS 239, 2755
93525-075 – Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul

Camila Tamires Petry – camilapetry@yahoo.com.br
Universidade Feevale, Laboratório de Biotecnologia Vegetal

Mara Betânia Brizola Cassanego – maxyuri@terra.com.br
Universidade Feevale, Laboratório de Biotecnologia Vegetal

Annette Droste – annette@feevale.br
Professora titular do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale,
Laboratório de Biotecnologia Vegetal

Resumo: As bacias hidrográficas no Brasil têm sido degradadas devido ao crescimento demográfico e o desenvolvimento industrial que vêm ocorrendo de forma desordenada e sem planejamento. O presente estudo teve como objetivos: (i) avaliar a genotoxicidade de amostras de água dos arroios Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão e Schmidt (Rio Grande do Sul, Brasil), nos seus respectivos trechos iniciais (sítio 1) e finais (sítio 2) (ii) avaliar a qualidade de amostras de água dos quatro arroios por meio de parâmetros químicos e (iii) investigar a possível relação entre os danos genéticos observados em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* e parâmetros químicos analisados, para verificar a contribuição destes para a poluição do principal corpo hídrico da bacia. Os botões florais expostos às amostras de água dos arroios Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão, Schmidt apresentaram frequências que variaram de 1,71 a 3,86 MCN no sítio 1, e de 2,38 a 5,19 MCN no sítio 2. O índice de estado trófico apresentou condições mesotróficas e hipereutróficas para as amostras de água e nenhuma apresentou alto grau de poluição por metais pesados. A análise de componentes principais demonstrou a menor qualidade e maior genotoxicidade da água das amostras nos sítios próximos aos trechos finais do arroios. Os resultados obtidos indicam a necessidade de políticas públicas e projetos de recuperação dos arroios monitorados, dando prioridade para propostas de efetivo gerenciamento de resíduos e efluentes para garantir a integridade ecológica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.

Palavras-chave: Corpo hídrico, Poluente, *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, Monitoramento, Análise integrada.

INTEGRATED ASSESSMENT OF CHEMICAL PARAMETERS AND THE GENOTOXICITY OF STREAMS OF WATER IN THE LOWER SECTION OF THE SINOS RIVER BASIN, RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

Abstract: River basins in Brazil have been degraded due to the demographic growth and the industrial development which have occurred in a disorderly and unplanned manner. The present study aimed to: (i) assess the genotoxicity of the water samples from the streams Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão and Schmidt (Rio Grande do Sul, Brazil), in their respective initial (site 1) and final (site

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



2) sections, (ii) evaluate the quality of the water samples from the four streams by chemical parameters and (iii) investigate the possible relation among the genetic damages observed in *Tradescantia pallida* var. *purpurea* and chemical parameters analyzed, to verify their contribution to the pollution of the main basin water body. The flower buds exposed to the water samples from the streams Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão and Schmidt, showed frequencies which ranged from 1,71 to 3,86 MCN in site 1 and from 2,38 to 5,19 MCN in site 2. The trophic state index has shown mesotrophic and hypereutrophic conditions to the water samples and none of them showed a high degree of pollution by heavy metals. The analysis of the main components demonstrated a lower quality and a higher genotoxicity of the water samples in the sites close to the final section of the streams. The results obtained indicate the need for public policies and recovery projects of the monitored streams, giving priority to proposals for effective management of waste and effluents to ensure the ecological integrity of the River Sinos Basin.

Key words: Water body, Pollutant, *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, Monitoring, Integrated analysis.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e o desenvolvimento industrial vêm ocorrendo de forma desordenada e sem planejamento, o que pode provocar aumento da demanda dos usos consuntivos de corpos hídricos e conseqüentemente sua poluição e contaminação, devido aos despejos de resíduos *in natura*, ocasionando perda da qualidade e da disponibilidade da água (TUNDISI, 2003; NUNES *et al.*, 2011). Para a implementação de programas de monitoramento de corpos hídricos e melhoria da qualidade das águas superficiais, é necessário a realização da análise e do controle das variações espaciais e temporais deste recurso natural (FILIZOLA *et al.*, 2002; ZHAO *et al.*, 2011).

Os procedimentos mais adequados para avaliação de corpos hídricos são o monitoramento ambiental integrado e sequencial dos recursos, para reconhecer seu estado e as causas que atuam na sua qualidade, bem como as possíveis áreas impactadas (NAIME & FAGUNDES, 2005; NUNES *et al.*, 2011). Para a avaliação da qualidade da água, é fundamental que sejam considerados parâmetros físico-químicos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005). No entanto, estes parâmetros, quando analisados isoladamente, podem subestimar os danos tóxicos e genotóxicos que podem estar sendo causados à biota aquática e à saúde da população humana por meio de poluentes e contaminantes (TUNDISI, 2003; SOUZA *et al.*, 2012) e ainda não avaliam os riscos ambientais (KARR & CHU 1999; COSTA *et al.*, 2014, TRINTINAGLIA *et al.*, 2015).

Bioindicadores vêm sendo utilizados para avaliar a qualidade de corpos hídricos e detectar impactos da poluição da água sobre os organismos (OHE *et al.*, 2004; NUNES *et al.*, 2011, OLIVEIRA *et al.*, 2012). Plantas indicadoras são integradas em estudos de monitoramento da qualidade da água por serem sensíveis a misturas complexas de poluentes hídricos (CUCHIARA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2012; ENDRES JUNIOR *et al.*, 2015; KIELING-RUBIO *et al.*, 2015). *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* Boom, espécie selvagem que está bem adaptada aos climas subtropical e tropical, apresenta alta sensibilidade a agentes genotóxicos presentes em corpos hídricos e pode ser utilizada para monitoramento ambiental (THEWES *et al.*, 2011; CASSANEGO *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2014).

As bacias hidrográficas no Brasil têm sido degradadas devido ao crescimento desordenado dos municípios e superpopulação, bem como por diversas atividades antrópicas realizadas ao longo de cursos hídricos (BENVENUTI *et al.*, 2015). Os rios são depositários de rejeitos e resíduos de diversas formas (NETO & FERREIRA, 2007) e ainda recebem efluentes domésticos e industriais que contribuem para o aumento das cargas poluidoras nos ambientes aquáticos (CAMPANHA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; BARRETO *et al.*, 2014).

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS) possui uma área total de 3.800 km² na região leste do estado do Rio Grande do Sul, integra 32 municípios com diferentes atividades econômicas, dentre as quais se destaca a indústria de calçados e couro, metalurgia, de alimentos, petroquímica,



madeira e de móveis, e ainda fornece água de abastecimento para cerca de 1,6 milhões de habitantes (BENVENUTI *et al.*, 2015; DALLA VECCHIA *et al.*, 2015; FEPAM, 2015, IBGE, 2015). O Rio dos Sinos, principal rio da bacia, apresenta uma extensão de 190 km e é dividido em trecho superior, médio e inferior, sendo os dois últimos os mais urbanizados (OLIVEIRA *et al.*, 2012; FEPAM, 2015; IBGE, 2015). Dentre os principais afluentes do Rio dos Sinos, no trecho inferior da bacia, destacam-se os arroios Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão e Schmidt. As principais causas de degradação nos afluentes do Rio dos Sinos são a poluição proveniente do esgoto de origem doméstica e industrial, eutrofização, erosão, e ainda ocorre a eliminação de matas ciliares no entorno dos afluentes, principalmente em áreas agrícolas (WEBER *et al.*, 2013). Nos municípios pertencentes à BHRS, é baixa a porcentagem de esgoto doméstico que recebe algum tratamento (KONZEN *et al.*, 2015) antes de ser despejado no rio, sendo a média de apenas 5% (OLIVEIRA *et al.*, 2012; COMITESINOS, 2015).

Cada bacia ou micro-bacia tem suas características próprias, o que torna difícil estabelecer uma única variável como um indicador padrão para qualquer sistema de água. Apesar de ter sido determinado por normas ambientais, o monitoramento de águas superficiais ainda é deficitário e somente alguns arroios da região metropolitana de Porto Alegre foram monitorados considerando parâmetros físico-químicos e microbiológicos até o presente momento (COSTA *et al.*, 2014; KIELING-RUBIO *et al.*, 2015; BENVENUTI *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2015).

O presente estudo teve como objetivos: (i) avaliar a genotoxicidade da água dos arroios Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão e Schmidt, em sítios localizados próximos aos seus trechos iniciais e finais (ii) avaliar a qualidade da água dos quatro arroios por meio de parâmetros químicos e (iii) investigar a possível relação entre os danos genéticos observados em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* e parâmetros químicos analisados. As hipóteses foram de que: (i) a jusante, a qualidade da água dos arroios é mais baixa e sua genotoxicidade é mais alta do que a montante; (ii) os arroios contribuem com agentes poluentes e genotóxicos para o Rio dos Sinos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em quatro arroios localizados no terço inferior da Bacia do Rio dos Sinos, localizada na região leste do estado do Rio Grande do Sul (29°20' a 30°10' S e 50°15' a 51°20' W), no sul do Brasil, por um período de nove meses. O clima da área de estudo é do tipo Cfa segundo a classificação de Köppen, subtropical temperado, com temperatura superior a 22°C no verão e precipitação acumulada anual de cerca de 1.600 mm, distribuída uniformemente ao longo do ano (PEEL *et al.*, 2007).

Arroio Luiz Rau

Um dos principais afluentes do Rio dos Sinos, o arroio Luiz Rau, com 14 km de extensão, pertence ao município de Novo Hamburgo, que possui 248.694 habitantes e 15.352 empresas (IBGE, 2015). O arroio Luiz Rau recebe intensa carga de esgoto doméstico e industrial, principalmente nos trechos mais urbanizados de Novo Hamburgo, sendo chamado de “arroio Preto” devido à coloração de suas águas (PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVO HAMBURGO, 2015). A vegetação ciliar no sítio 1 (29° 38'14,78" S, 51°08'22,53" W, 43 m alt.) a jusante do trecho inicial, apresenta-se bem preservada em uma das margens do arroio. O sítio 2 (29°43'4,45"S, 51° 7'55,02"W, 9 m alt.), localizado no trecho final do arroio, está totalmente descaracterizado quanto à vegetação original da região, isto por apresentar somente alguns exemplares arbóreos, com predominância de espécies exóticas.

Arroio Pampa

O arroio Pampa, com aproximadamente 9 km de extensão, atravessa bairros densamente habitados do município de Novo Hamburgo, que possui 248.694 habitantes e 15.352 empresas e serve



como um corpo receptor de efluentes industriais e de esgotos domésticos, este último lançado em suas águas sem tratamento (IBGE, 2015, FEPAM, 2015). A sua foz no Rio dos Sinos está a aproximadamente 1,5 km a montante do ponto da captação de água para consumo humano do município. O sítio 1 (29°38'28.57"S, 51° 6'38.97"W, 153 m alt.), localizado a jusante do trecho inicial do arroio, apresenta agrupamentos florestais em estágio secundário de desenvolvimento. O sítio 2 (29°42'25.09"S, 51° 5'17.78"W, 8m alt.), localizado no trecho final do arroio, apresenta pouca vegetação ciliar.

Arroio Estância Velha/Portão

O arroio Estância Velha/Portão possui 20 km de extensão e está localizado nos municípios de Estância Velha e Portão. O município de Estância Velha possui cerca de 46.444 habitantes e 2.247 empresas, e o município de Portão possui 33.994 habitantes e 1.296 empresas (IBGE, 2015). Os principais afluentes do arroio Estância Velha/Portão são: arroio Bonito, arroio Cascalho e arroio Noque (margem direita) e arroio Bopp (margem esquerda). O arroio Estância Velha/Portão drena os efluentes dos curtumes dos municípios de Estância Velha e Portão, além dos esgotos cloacais destes municípios. Ao longo dos anos, empresas, de porte variado se instalaram nas margens do arroio Estância Velha/Portão. Hoje este núcleo de empresas constitui uma das principais aglomerações industriais do Vale do Rio dos Sinos (NAIME & FAGUNDES, 2005). O sítio 1 (29°38'22.60"S, 51° 9'18.89"W, 94 m alt.) está localizado a jusante do trecho inicial do arroio e apresenta vegetação secundária típica da Floresta Estacional Semidecidual Submontana. Por sua vez, o sítio 2 (29°45'10.43"S, 51°12'18.33"W, 7m alt.), localizado no trecho final do arroio, apresenta predominância de *Mimosa bimucronata* (De Candolle) Kuntze, típica das formações florestais de Terras Baixas da Bacia do Rio dos Sinos, sujeitas as inundações periódicas.

Arroio Schmidt

O arroio Schmidt está localizado no município de Campo Bom e possui uma extensão de 7 km. O município possui uma população de 64.171 habitantes e cerca de 3.459 empresas (IBGE, 2015). O sítio 1 (29°39'0.23"S, 51° 4'49.99"W, 68 alt.) está localizado a jusante do trecho inicial do arroio e possui vegetação ciliar preservada, com extrato arbóreo em torno de 11 m de altura e destaque a espécies nativas características da Floresta Estacional Semidecidual Submontana. O sítio 2 (29°41'22.00"S 51° 02'40.83" W, 11m alt.) está localizado no trecho final do arroio e apresenta uma faixa considerável de vegetação ciliar.

2.2 Coleta de água e bioensaio Trad-MCN

As amostras de água foram coletadas na superfície dos arroios com periodicidade bimensal, entre julho de 2012 e março de 2013. O critério de escolha do dia da coleta foi a ausência de precipitação de chuva três dias antes e no dia desta. A coleta, o transporte e o processamento da água foram realizados de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 9898/1987) (ABNT, 1987) e o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). As amostras de água foram armazenadas em recipientes de vidro (volume total de 8 L), acondicionadas em caixas térmicas e imediatamente transportadas ao laboratório para o bioensaio de genotoxicidade e as análises químicas.

Os espécimes de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* utilizados para os experimentos foram cultivados em vasos (37 cm x 20 cm x 20 cm) contendo 4 kg de solo comercial em uma área não poluída da universidade e regados três vezes por semana. Mensalmente, foram aplicados 100 mL de solução de fertilizante N:P:K (nitrogênio:fósforo:potássio) na proporção de 10:10:10 (THEWES *et al.*, 2011). Todas as plantas derivaram de propagação vegetativa, com propágulos provindos da mesma população.

O bioensaio Trad-MCN foi realizado conforme metodologia descrita por Cassanego *et al.* (2014). Foram utilizados 20 ramos com botões florais jovens de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* para cada amostragem. Simultaneamente foi realizado um controle negativo para cada período

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



amostrado. Os bioensaios foram realizados em sala climatizada com temperatura de $26\pm 1^\circ\text{C}$ e luz natural. Os botões florais foram fixados em etanol absoluto e ácido acético glacial, na proporção de 3:1 (v:v), por um período de 24 h, sendo armazenados após este período em etanol 70% e mantidos sob refrigeração a 7°C . Para a preparação das lâminas, os botões florais foram dissecados e as anteras maceradas em carmim acético a 1%. Para a contagem dos micronúcleos (MCN) foram observadas 300 tétrades por lâmina, em um total de dez lâminas por exposição e sítio amostral, por meio de microscopia óptica em aumento de 400 vezes. As frequências de MCN foram expressas em MCN/100 tétrades (THEWES *et al.*, 2011).

2.3 Análises químicas e índice de estado trófico (IET)

As análises químicas das amostras de água foram realizadas conforme metodologia descrita em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Os parâmetros analisados foram: (a) pH, por potenciometria, (b) sólidos dissolvidos totais (SDT), por gravimetria, (c) demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), por manometria, (d) oxigênio dissolvido (OD), por Winkler/Azida, (e) fósforo total (PT), por colorimetria.

O potencial de eutrofização dos arroios foi avaliado por meio do índice de Estado Trófico (IET) que permite analisar a qualidade da água em relação ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito no corpo hídrico. Nesse índice, os resultados são obtidos a partir da concentração de fósforo nos corpos hídricos, conforme equação determinada por Lamparelli (2004) e Fia *et al.* (2009):

$$\text{IET} = 10 \cdot \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \times \ln(\text{PT})}{\ln(2)} \right) \right) - 20$$

Os valores para a determinação do Índice de Estado Trófico foram de: $\text{IET} \leq 47$ para ultra-oligotrófico, $47 < \text{IET} \leq 52$ para oligotrófico, $52 < \text{IET} \leq 59$ para mesotrófico, $59 < \text{IET} \leq 63$ para eutrófico, $63 < \text{IET} \leq 67$ para supereutrófico e $\text{IET} > 67$ para hipereutrófico, onde o fósforo total (PT) é expresso em $\mu\text{g/L}$ (ALVES *et al.*, 2012).

3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As frequências de MCN foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. A homogeneidade de variâncias foi avaliada pelo teste de Levene, e após realização da análise de variância (ANOVA), as médias das frequências de MCN foram comparadas pelo teste de Tukey. A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para avaliar as variáveis biótica e abióticas. Para a PCA, foi utilizada a matriz de correlação, uma vez que as variáveis são estimadas por diferentes unidades de medida. Apenas *eigenvalues* maiores que 1 foram utilizados como critério para extração dos componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SPSS versão 22, e o nível de significância adotado foi de 5%. O gráfico da PCA foi construído usando o programa PAST versão 3.02 (HAMMER *et al.*, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os botões florais expostos às amostras de água dos arroios Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão e Schmidt apresentaram frequências que variaram de 1,71 a 3,86 MCN no sítio 1, e de 2,38 a 5,19 MCN no sítio 2. Em praticamente todos os meses avaliados, as frequências de MCN dos sítios localizados nos trechos iniciais e finais dos arroios não diferiram estatisticamente em relação às frequências de MCN do controle negativo. Os resultados obtidos nos controles negativos estiveram sempre dentro do valor que é considerado resultante de mutações espontâneas em plantas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* (KLUMPP *et al.*, 2004; PEREIRA *et al.*, 2013).

O risco genotóxico denotado mesmo para os sítios próximos aos trechos iniciais de arroios e para o Rio dos Sinos, no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, já foi descrito (CASSANEGO *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2014; ENDRES JÚNIOR *et al.*, 2015). No município de Novo Hamburgo,



foram observadas frequências de 2,2 a 3,6 MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* exposta à água da nascente principal e de 1,3 a 6,5 MCN quando da exposição à água da nascente secundária do arroio Vila Kunz (ENDRES JÚNIOR *et al.*, 2015). Costa *et al.* (2014) observaram frequências de MCN que variaram de 1,62 a 2,62 em botões florais expostos a água da nascente do arroio Schmidt. No município de Campo Bom, na qual está inserido o arroio Schmidt, frequências de MCN em *T. pallida* var. *purpurea* exposta à água do Rio dos Sinos, que dista cerca de 1km do trecho final do arroio Schmidt, variaram entre 3,0 e 3,5 (CASSANEGO *et al.*, 2014).

As nascentes configuram locais onde aflora naturalmente a água subterrânea, desempenhando um papel fundamental para a manutenção da qualidade e quantidade da água dos arroios e rios (PINTO *et al.*, 2012). O fato de as nascentes localizadas em áreas urbanas encontrarem-se descaracterizadas pela redução da vegetação arbórea em seu entorno, bem como pela alta densidade populacional e pelas atividades antrópicas a ela relacionadas, as torna vulneráveis à degradação. Estes, portanto, são fatores que podem estar contribuindo para o aumento do risco genotóxico dos trechos iniciais dos arroios avaliados no presente estudo.

Os arroios Luiz Rau (trecho inicial e final), Estância Velha/Portão (trecho inicial e final) e Pampa (trecho final) são os arroios que apresentaram o maior potencial genotóxico em quase todos os meses avaliados. O potencial genotóxico evidenciado nos trechos iniciais e finais dos arroios também pode estar relacionado ao processo de evapotranspiração, que aumenta principalmente no verão e torna os corpos hídricos mais secos e conseqüentemente eleva sua carga poluidora (PEREIRA, 1997).

O efeito tóxico da água do arroio Luiz Rau sobre o índice mitótico em *Allium cepa* já foi registrado por Nunes *et al.* (2011). No arroio Estância Velha/Portão, *Daphnia similis*, *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia* e *Hyalella azteca* já apresentaram significativa toxicidade (MITTEREGGER JÚNIOR *et al.*, 2007). Na foz do arroio Luiz Rau, concentrações de cianeto de 0,750 mg/L já foram detectadas, enquanto que o permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 é de 0,005 mg/L. O cianeto é altamente tóxico e pode ser oriundo da combustão de biomassa, galvanoplastia, metalurgia e curtimento de couros e peles. Os municípios nos quais estão localizados os arroios Luiz Rau e Estância Velha/Portão possuem empresas de metalurgia e galvanoplastia (RODRIGUES *et al.*, 2011), que podem estar contribuindo com a poluição dos corpos hídricos avaliados no presente estudo. A foz do arroio Estância Velha/Portão também já apresentou um decréscimo de sua qualidade e o pior índice de qualidade de água de um total de cinco conceitos para o IQA (FEPAM, 2015).

Durante todo o período monitorado, a DBO₅ nos trechos iniciais e finais dos arroios esteve acima do limite ($\leq 3,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e as mais baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), em geral, corresponderam às maiores concentrações de DBO₅ nos pontos avaliados. O trecho final do arroio Luiz Rau já apresentou valores de DBO₅ acima do limite (19 mg L^{-1}) estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 (NUNES *et al.*, 2011). A excessiva carga de DBO₅ pode tornar os rios completamente anóxicos (DOODS, 2006; SILVA *et al.*, 2012). Porém, o volume de água e a velocidade de escoamento também afetam a oxigenação do corpo hídrico, podendo ocorrer, concomitantemente, DBO₅ e OD em concentração elevada ou muito baixa, em períodos chuvosos devido à lixiviação do solo, aumento de matéria orgânica e turbulência no leito do corpo hídrico. Somadas aos efeitos da matéria orgânica, espécies nitrogenadas e fosforadas podem levar à eutrofização os corpos hídricos (DOODS 2006; SILVA *et al.*, 2014). Hynes (1970) verificou que o enriquecimento de nutrientes pode ocorrer em rios e arroios como um resultado direto das alterações antrópicas de usos do solo somado à entrada de esgotos. No Brasil, apenas 47% dos municípios têm rede coletora de esgotos e somente 18% dos esgotos recebem algum tratamento (GUEDES *et al.*, 2012). Concentrações excessivas de fósforo são a causa mais comum de eutrofização em lagos de águas doces, reservatórios, arroios e em cabeceiras de sistemas estuarinos (SILVA *et al.*, 2014).

Nos sítios 1 e 2, o pH, a concentração de SDT e o OD apresentaram valores dentro do limite legal para águas doces de classe 1 durante todo o período amostrado. No trecho inicial do arroio Pampa pode ser observada a melhor condição em relação à DBO₅ e isso pode estar relacionado à dificuldade de acesso ao sítio. Os trechos iniciais dos arroios Estância Velha/Portão, arroio Pampa, Luiz Rau e Schmidt estão localizados em regiões agrícolas e densamente povoadas e, portanto, podem apresentar alta carga de nutrientes oriundos de esgotos domésticos ou ainda de produção agropecuária e em conseqüência apresentam elevada concentração de matéria orgânica e fósforo. Para as nascentes,



a matéria orgânica, além de ser oriunda da ocupação do solo, pode estar atribuída, em parte, à característica caducifólia da vegetação local (BENVENUTI *et al.*, 2015).

No trecho final de todos os arroios monitorados, a concentração de PT esteve elevada de acordo com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). O lançamento de detergentes superfosfatados e de matéria fecal nos efluentes domésticos, além da drenagem pluvial de ambientes agrícolas e o lançamento de efluentes industriais podem estar relacionados com as concentrações aumentadas de PT nas amostras de águas dos arroios (ANA, 2015). Neste contexto, destacam-se os arroios Estância Velha/Portão e Luiz Rau que vem sofrendo com o processo de degradação decorrente das cargas poluentes domésticas e industriais, estas principalmente providas do setor coureiro-calçadista e da metalurgia (FEPAM, 2015).

Os dados das análises químicas corroboram com a avaliação da qualidade hídrica do Rio dos Sinos realizada por Blume *et al.* (2010), Dalla Vecchia *et al.* (2015) e Nascimento *et al.* (2015) que evidenciaram as maiores concentrações de poluentes, oriundos principalmente de fontes pontuais, como efluentes domésticos e industriais, em pontos localizados no trecho inferior do rio (BLUME *et al.*, 2010, NUNES *et al.*, 2011). No entanto, os corpos hídricos ao cruzarem as rochas e solos carregam elementos químicos e partículas destes, que irão depositar-se junto aos sedimentos do rio. Dessa forma, as amostras de água dos arroios também podem estar sendo influenciadas pelas rochas e pelo solo (ROBAINA *et al.*, 2002).

Na avaliação do efeito dos nutrientes, por meio do IET, os sítios dos trechos iniciais dos arroios apresentaram condições mesotróficas em 50% das amostras e os outros 50% foram oligotróficas, enquanto os sítios dos trechos finais indicaram forte tendência à eutrofização, classificados como hipereutróficos em 75% das amostras avaliadas. Os trechos finais dos arroios Schmidt e Estância/Portão encontram-se em regiões onde a atividade agrícola e pecuária é mais intensa. Já os trechos finais dos arroios Pampa e Luiz Rau são caracterizados por ocupação populacional intensa e desordenada e ainda apresentam um déficit de saneamento (FEPAM, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2015).

O IET, determinado a partir da concentração de fósforo, conferiu, de um modo geral, a característica mesotrófica aos trechos iniciais dos arroios avaliados. Isto pode ser resultado do processo de eutrofização natural e atividades antrópicas nas proximidades. De acordo com Butcher (1947), em seu curso da nascente ao mar, a eutrofização progressiva da água de um rio pela drenagem de áreas cultivadas e regiões habitadas é um processo natural quase inevitável. No trecho final dos arroios, onde a concentração de fósforo foi mais elevada, a contribuição da intensa carga de efluentes industriais e esgotos domésticos (adequadamente tratados, ou não) e a lixiviação de solos ocupados por atividades agropecuárias, inseridos em todo o curso dos arroios, até atingir os sítios amostrais, conferiu, à maior parte das amostras, a característica hipereutrófica (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

A PCA indicou a existência de dois componentes principais que explicaram 73,73% da variância total. As variáveis que apresentaram maior correlação com o primeiro componente, que explicou 53,81% da variância, foram MCN, pH e PT, que se relacionaram positivamente umas com as outras, além do OD, que se relacionou negativamente com as demais variáveis. O segundo componente explicou 19,92% da variância, e as variáveis que o compuseram foram os SDT, HEI e a DBO₅ que se relacionou negativamente com as duas anteriores. A interpretação da distribuição nos dois componentes indicou o agrupamento das amostras de cada sítio de tal forma que demonstrou a menor qualidade e maior genotoxicidade da água das amostras nos sítios próximos aos trechos finais dos arroios e também do trecho inicial do arroio Luiz Rau (Figura 1).

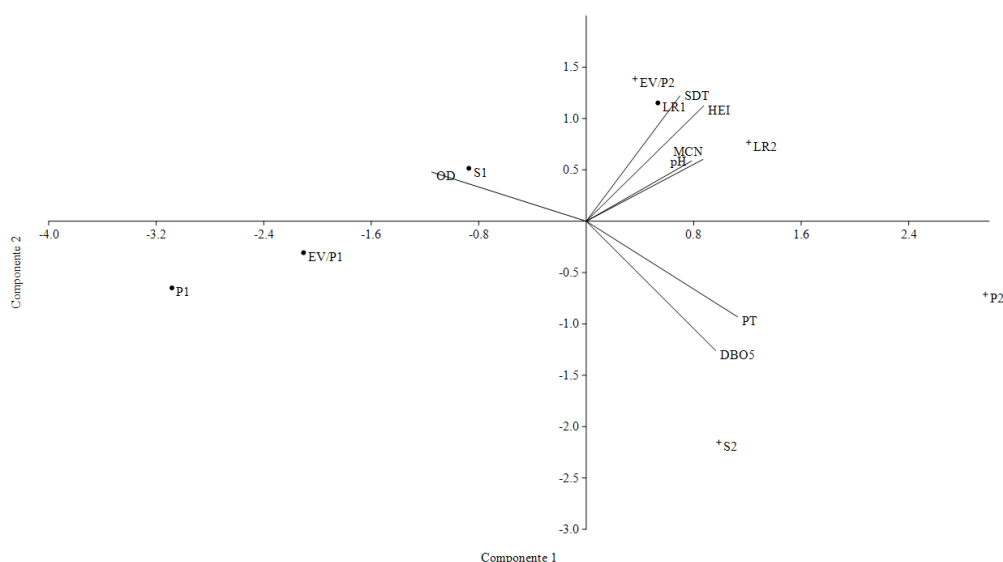


Figura 1 - Análise de componentes principais dos parâmetros avaliados nos sítios estudados (Sítio 1: ponto, Sítio 2: sinal de mais). MCN: frequência de micronúcleos; DBO₅: demanda bioquímica de oxigênio; PT: fósforo total; SDT: sólidos dissolvidos totais; OD: oxigênio dissolvido; HEI: índice de avaliação de metais pesados. LR1: Luiz Rau trecho inicial; LR2: Luiz Rau trecho final; P1: Pampa trecho inicial; P2: Pampa trecho final; EV/P1: Estância Velha/ Portão: trecho inicial; EV/P2: Estância Velha/Portão: trecho final; S1: Schmidt trecho inicial; S2: Schmidt trecho final.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos parâmetros avaliados fornece suporte para um diagnóstico ambiental do atual cenário das áreas estudadas. A avaliação individual dos parâmetros monitorados em amostras dos trechos iniciais e finais dos arroios da BHRS traz indicativos da qualidade da água nestes sítios e possibilita a verificação do efeito de poluentes oriundos de esgotos, efluentes, e da lixiviação de solos pelas chuvas que podem ainda ter uma contribuição agrícola de fertilizantes e da pecuária.

Durante todo o período monitorado, pode-se observar que os sítios dos trechos iniciais dos arroios ainda estão em um processo de baixa poluição, enquanto que os sítios dos trechos finais estão fortemente comprometidos pelas atividades antrópicas e principalmente pela urbanização. A determinação de índices de qualidade da água com o uso dos parâmetros avaliados permite uma

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



análise de tendência de degradação de corpos hídricos, bem como da sua qualidade para usos múltiplos.

O bioensaio com *Tradescantia pallida* var. *purpurea* indicou genotoxicidade das amostras de água nos sítios avaliados dos arroios Luiz Rau, Pampa, Estância Velha/Portão e Schmidt durante todo o período de estudo, apontando para o risco ao qual a biota aquática e os organismos que fazem uso desta água estão expostos.

O monitoramento de efluentes do corpo hídrico principal é de fundamental importância para a complementação da rede de informações hidrológicas de uma bacia hidrográfica, além de fornecer dados sobre o funcionamento dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ciclo hidrológico. A elaboração do diagnóstico ambiental de arroios poderá contribuir na construção de um sistema de gerenciamento eficiente dos recursos hídricos na área em estudo, principalmente em função do desenvolvimento e urbanização da região monitorada. O conhecimento em relação às respostas de indicadores biológicos e físico-químicos de corpos hídricos intensamente degradados permite auxiliar na realização de um diagnóstico ambiental e no estabelecimento de prioridades para o controle da poluição.

As hipóteses de que a jusante a qualidade da água dos arroios é mais baixa e sua genotoxicidade é mais alta do que a montante e que a água do arroio contribui com agentes poluentes e genotóxicos para o Rio dos Sinos, cuja qualidade hídrica está criticamente afetada em municípios da porção inferior da bacia, foram confirmadas. Portanto, os resultados obtidos indicam a necessidade de políticas públicas e projetos de recuperação dos arroios monitorados, dando prioridade para propostas de efetivo gerenciamento de resíduos e efluentes para garantir a integridade ecológica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Feevale pela infraestrutura disponibilizada, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado de G. M. Costa (CAPES/FAPERGS), à Universidade Feevale pela bolsa de IC de C. T. Petry, ao Ministério da Ciência e Tecnologia - Financiadora de Estudos e Projetos (MCT/FINEP) pelo suporte financeiro (Processo 551923/2011-3).

6. REFERÊNCIAS

ABNT/NBR 9898 - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.

ALVES, I.C.C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS M.L.S.; MONTEIRO, S.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 Amazônica**, v.42, p. 115-124, 2012.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Portal da qualidade das águas**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn7>. Acesso em: 24 ago. 2015.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed. Washington DC, 2005.1220p.

BARRETO, L.V.; FRAGA, M.S.; BARROS, F.M.; ROCHA, F.A.; AMORIM, J.S. & CARVALHO, S.R. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n.1, p.118-129, 2014.

BENVENUTI, T.; KIELING-RUBIO, M.A.; KLAUCK, C.R. & RODRIGUES, M.A.S. Evaluation of water quality at the source of streams of the Sinos River Basin, southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, p. 98-104, 2015.



BLUME, K.K.; MACEDO, J.C.; MENEGUZZI, A.; SILVA, L.B.; QUEVEDO, D.M. & RODRIGUES, M.A.S. Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p.1185-1193, 2010.

BRASIL. 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2015.

BUTCHER, R.W. Studies in the ecology rivers: VII. **The algae of organically enriched waters**. *Journal Ecology*, v. 35, 1947, p. 186-191.

CAMPANHA, M.B.; MELO, C.A.; MOREIRA, A.B.; FERRARESE, R.F.M.S.; TADINI, A.M.; GARBIN, E.V. & BISINOTI, M. C. Variabilidade espacial e temporal de parâmetros físico-químicos nos rios Turvo, Preto e Grande no Estado de qualidade da água de rios. **Caderno de Saúde Pública**, v.19, p. 465-473, 2003.

CASSANEGO, M.B.B.; COSTA, G.M.; SASAMORI, M.H.; ENDRES JÚNIOR, D.; PETRY, C.T. & DROSTE, A. The *Tradescantia pallida* var. *purpurea* active bioassay for water monitoring: evaluating and comparing methodological conditions. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 424-433, 2014.

COMITESINOS. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. 2014. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

COSTA, G.M.; CASSANEGO, M.B.B.; PETRY, C.T.; BENVENUTI, T.; KIELING-RUBIO, M.A.; RODRIGUES, M.A.S. & DROSTE, A. Monitoramento químico e do potencial genotóxico para o diagnóstico da qualidade de corpos hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 34, p. 65-74, 2014.

CUCHIARA, C. C.; BORGES, C.S.; BOBROWSKI, V.L. Sistema teste de *Allium cepa* como bioindicador da citogenotoxicidade de cursos d'água. **Tecnologia Ciência Agropecuária**, v. 6, p. 33-38, 2012.

DALLA VECCHIA, A.D.; RIGOTTO, C.; STAGGEMEIER, R.; SOLIMAN, M.C.; SOUZA, F.G.; HENZEL, A.; SANTOS, E.L.; NASCIMENTO, C.A.; QUEVEDO, D.M.; FLECK, J.D.; HEINZELMANN, L.S.; ALMEIDA, S.E.M. & SPILKI, F.R. Surface water quality in the Sinos River basin, in Southern Brazil: tracking microbiological contamination and correlation with physicochemical parameters. **Environmental Science Pollution Research**, v. 22, p. 9899-9911, 2015.

Doods, W.K. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. **Limnol Oceanogr**, v. 51, 2006. 671-680p.

ENDRES JÚNIOR, D.; SASAMORI, M.H.; CASSANEGO, M.B.B.; DROSTE, A. Biomonitoring of water genotoxicity in a Conservation Unit in the Sinos River Basin, Southern Brazil, using the *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 91-97, 2015.

FEPAM - **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2015.

FIA, R., MATOS, A.T.; CORADI, P.C. & PEREIRA-RAMIREZ, O. Estado Trófico da água na Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, p. 132-41, 2004.



FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; SANS, L.M.A.; GOMES, M.A.F. & FERREIRA, C.J.A. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.5, p.659-667, 2002.

GUEDES, H.A.S.; SILVA, D.D.; ELESBON, A.A.A.; RIBEIRO, C.B.M.; MATOS, A.T.; SOARES, J.H.P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.5, p.558-563, 2012.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. & RYAN, P.D. PAST: **Paleontological Statistics package for education and data analysis**. Paleontologia Eletrônica, v. 4. 2001.

Hynes HBN. **The ecology of running waters**. Toronto: Univ. of Toronto Press, 1970.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

KARR, J. & CHU, E.W. **Restoring life in running waters: better biological monitoring**. Washington: Inland Press, 1999. 206p.

KIELING-RUBIO, M.A.; BENVENUTI, T.; COSTA, G.M.; PETRY, C.T., RODRIGUES, M.A.S.; SCHMITT, J.L & DROSTE, A. Integrated Environmental Assessment of streams in the Sinos River basin in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, p.105-113, 2015.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; FORMIN, A.; SCHNIRRING, S. & PICKL, C. Influence of climatic conditions on the mutations in pollen mother cells of *Tradescantia* clone 4430 and implications for the Trad-MCN bioassay protocol. **Hereditas**, v. 141, p. 142-148, 2004.

KONZEN, G.B.; FIGUEIREDO, J.A.S. & QUEVEDO, D.M. History of water quality parameters – a study on the Sinos River/Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 1-10, 2015.

LAMPARELLI, M.C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia, 2004. 235 f. **Tese de doutorado**, Universidade de São Paulo, 2004.

MITTEREGGER, H.J.; SILVA, J.; ARENZON, A.; PORTELA, C.; FERREIRA, I. & HENRIQUES, J.A.P. Evaluation of genotoxicity and toxicity of water and sediment samples from a Brazilian stream influenced by tannery industries. **Chemosphere**, v. 67, p.1211–1217, 2007.

NAIME, R. & FAGUNDES, R.S. Controle da Qualidade da Água do Arroio Portão, Portão, RS. **Pesquisas em Geociências**, v. 32, p. 27-35, 2005.

NASCIMENTO, C.A.; STAGGEMEIER, R.; BIANCHI, E.; RODRIGUES, M.T.; FABRES, R.; SOLIMAN, M.C. Monitoring of metals, organic compounds and coliforms in water catchment points from the Sinos River basin. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 50-56, 2015.

NETO, M.L.F. & FERREIRA, A.P. Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos. **Revista Gestão Integrada Saúde Trabalho e Meio Ambiente**, v.2, n.4, p. 1-15, 2007.

NUNES, E. A.; LEMOS, C.T.; GAVRONSKI, L.; MOREIRA, T.N.; OLIVEIRA, N.C.D. & SILVA, J. Genotoxic assessment on river water using different biological systems. **Chemosphere**, v. 84, p. 47-53, 2011.



OHE, T.; WATANABE, T. & WAKABAYASHI, K. Mutagens in surface waters: a review. **Mutation Research**, v. 567, p.109-149, 2004.

OLIVEIRA, J.P.W.; SANTOS, R.N.; PIBERNAT, C.C.; BOEIRA, J.M. Genotoxicity and physical chemistry analysis of waters from Sinos River (RS) using *Allium cepa* and *Eichhornia crassipes* as bioindicators. **Biochem Biotechnol Reports**, v.1, p.15-22, 2012.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L & MCMAHON, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Science Discussion**, v. 4, p. 439-473, 2007.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpiração)**. Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.

PEREIRA, B.B.; CAMPOS-JUNIOR, E.O. & MORELLI, S. In situ biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v.87, p.17-22, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVO HAMBURGO. 2015. Novo Hamburgo – passado e futuro. Disponível em:
<<http://www.novohamburgo.rs.gov.br/modules/catsag/novohamburgo.php?conteudo=70>>. Acesso em 22 jun. 2015.

PINTO, L.V.A.; ROMA; T.N. & BALIEIRO, K.R.C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, v.18, p. 495-505, 2012.

ROBAINA, L.E.; FORMOSO, M.L.L.; PIRES, C.A.F. Metais pesados nos sedimentos de corrente, como indicadores de risco ambiental – Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, v. 23, p. 35-47, 2002.

RODRIGUES, M.L.K.; SCHNEIDER, I.L.; POLETTI, J.; SILVA, R.C. Avaliação de cianeto nas águas superficiais da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, no período 2006-2010. **Fepam Revista**, v. 5, n.1, p. 4-12, 2011.

SILVA, F.S.; MENDONÇA FILHO, J.G.; OLIVEIRA, A.D.; MENDONÇA, J.O.; GOMES, S.B.V.C.; SANTOS, E.S.; INNECCO, B.R.; CRAPEZ, B.R. Matéria orgânica particulada e atividade bacteriana nos sedimentos superficiais da Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n.2, p. 411-422, 2012.

SILVA, G.S.; SANTOS, E.A.; CORRÊA, L.B.; MARQUES, A.L.B.; MARQUES, E.P.; SOUSA, E.R.; SILVA, G.S. Avaliação integrada da qualidade de águas superficiais: grau de trofia e proteção da vida aquática nos rios Anil e Bacanga, São Luís (MA). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.19, n.3, 245-251, 2014.

SOUZA, C.F.; CRUZ, M.A.S. & TUCCI, C.E.M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 9-18, 2012.

THEWES, M.R.; ENDRES JUNIOR, D.; DROSTE, A. Genotoxicity biomonitoring of sewage in two municipal wastewater treatment plants using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. **Genetics Molecular Biology**, v. 34, p. 689-693, 2011.

TRINTINAGLIA, L.; BIANCHI, E.; SILVA, L.B.; NASCIMENTO, C.A.; SPILKI, F.R. & ZIULKOSKI, A.L. Cytotoxicity assays as tools to assess water quality in the Sinos River basin. **Brazilian Journal Biology**, v.75, p. 75-80, 2015.

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



TUNDISI, J.G. **Recursos hídricos**. MultiCiências, v.1, p.1-15, 2003.

WEBER, P.; BEHR, E.R.; KNORR, C.L.; VENDRUSCOLO, D.S.; FLORES, E.M.M.; DRESSLER, V.L. & BALDISSEROTTO, B. Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. **Microchemical Journal**, v.106, p. 61-66, 2013.

ZHAO, G.; GAO, J.; TIAN, P.; TIAN, P.; NI, G. Spatial-temporal characteristics of surface water quality in the Taihu Basin, China. **Environmental Earth Science**, v. 64, p. 809-819, 2011.

REALIZAÇÃO



CORREALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES

abes-rs@abes-rs.org.br
51 3212.1375