

Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS

Water quality of urban watershed Cancela-Tamandaí, Santa Maria/RS

*Sizabeli Amaral dos Santos*¹
*Maria do Carmo Cauduro Gastaldini*²
*Glaucia Ghesti Pivetta*³
*Osmar Schmidt Filho*⁴

Resumo

Os lançamentos inadequados de esgotos sanitários e resíduos sólidos nos recursos hídricos promovem a contaminação gradativa das águas. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais do Arroio Cancela-Tamandaí em período seco. A bacia situa-se na área urbana do município de Santa Maria-RS, com área de 2,7 km², predominando áreas impermeáveis. Os parâmetros de qualidade da água foram analisados estatisticamente e avaliados de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson. O uso e ocupação do solo influenciaram de modo acentuado e negativo a qualidade da água, excedendo os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe 4. As concentrações de metais pesados encontradas mostraram que o uso e ocupação do solo na área de drenagem da bacia estão introduzindo impactos negativos no curso d'água. Medidas mitigadoras devem ser adotadas, impedindo que esses impactos se tornem mais significativos. As fortes correlações entre OD e nitrato ($r=0,85$), DBO e DQO ($r=0,78$), EC e turbidez ($r=0,63$) confirmam a degradação da qualidade da água no arroio. A alta variabilidade nas concentrações das variáveis analisadas foi devido às interferências no ambiente, principalmente pela disposição inadequada de esgotos e resíduos sólidos.

Palavras-chave: Bacia urbana, Monitoramento ambiental, Metais pesados.

Abstract

Inadequate release of sewage and solid waste in water resources promotes gradual contamination of water. This study aimed to evaluate the quality of surface waters of Cancela-Tamandaí Creek in dry period. The basin is located in urban area of Santa Maria city, in Rio Grande do Sul, with 2.7 km² area, predominating impervious areas. The water quality parameters

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. sizabeli@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. mcarmocg@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. glaucia.pivetta@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. schmidt.agro@gmail.com

Artigo recebido em: 07/11/2016. Aceito para publicação em: 16/06/2018.

were statistically analyzed and evaluated according to Pearson correlation coefficient. The use and land occupation influenced negatively the quality of water, exceeding the limits from Class IV of CONAMA 357/2005 Resolution. The heavy metal concentrations found showed that the use and land occupation in drainage area of watershed are introducing negative impacts on stream. Mitigating measures should be adopted, preventing these impacts become more and more significant. Strong correlations between DO and nitrate ($r=0.85$), BOD and COD ($r=0.78$), E. coli and turbidity ($r=0.63$) are illustrating the degradation of water quality in the Creek. The high variability obtained for the evaluated parameters was due to interference of environment.

Keywords: Environmental monitoring, Urban watershed, Water quality

Introdução

A degradação qualitativa dos corpos hídricos está diretamente vinculada à poluição orgânica. Os lançamentos inadequados de esgotos sanitários e resíduos sólidos nos recursos hídricos promovem a contaminação gradativa das águas, transformando em um grave problema de saúde pública. Atualmente, os esgotos domésticos representam um dos principais problemas dos recursos hídricos no Brasil, em função da falta de rede coletora, de tratamento ou do tratamento ineficiente dos efluentes coletados. De acordo com o último diagnóstico dos serviços de água e esgotos (Brasil, 2016), 42,4% das áreas urbanas dos municípios brasileiros lançam diretamente o esgoto bruto nos corpos hídricos, incorrendo na deterioração da qualidade da água com consequências econômicas e sociais (ANA, 2012).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº357 de 2005 indica os limites de vários parâmetros para o enquadramento de corpos hídricos no Brasil. As águas doces são enquadradas como classe especial (que representa a melhor qualidade e que a água pode ser consumida após desinfecção), classe 1 (em que a água pode ser consumida após tratamento simplificado), classe 2 (o consumo humano da água requer tratamento convencional), classe 3 (a água pode ser consumida após tratamento convencional ou avançado) e classe 4 (que representa a pior qualidade da água, sendo destinada apenas para fins menos nobres).

Os parâmetros mais utilizados para avaliar a qualidade da água são o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio (indicadores de proteção da vida aquática e da contaminação por matéria orgânica biodegradável); o nitrogênio, o fósforo e a clorofila (indicadores de eutrofização), os coliformes totais e os coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (indicadores biológicos). Cada parâmetro influencia de forma diferenciada na qualidade da água, podendo ter relações entre si.

A contaminação dos recursos hídricos por metais potencialmente tóxicos está ligada a atividades antrópicas e naturais (GONÇALVES et al., 2015). Alguns metais, quando em baixas concentrações, são micronutrientes essenciais ao desenvolvimento dos seres vivos. Porém, é possível encontrar alguns que são tóxicos ao homem, animais e vegetais, que são introduzidos nos recursos hídricos principalmente por atividades antropogênicas. Para Gromaire et al. (2001), Madrid et al. (2002) e Ge et al. (2000) os metais mais impactantes e comuns em áreas urbanas são cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) e o zinco (Zn). Estes elementos podem entrar na cadeia trófica, afetando plantas, animais, homens e poluindo os mananciais hídricos (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

Além dos metais, os nutrientes também provocam alterações nos ecossistemas dos ambientes aquáticos. O nitrogênio é um importante nutriente para o crescimento de algas e plantas aquáticas superiores, podendo contribuir para o fenômeno de eutrofização. Dentro do ciclo do nitrogênio, este elemento encontra-se de várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, as formas mais comuns deste elemento são nitrato, nitrito, amônia e compostos nitrogenados dissolvidos (TUNDISI e TUNDISI, 2008). Estes nutrientes podem ter origem antropogênica por meio do lançamento de despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes.

O fósforo é um nutriente essencial para a produtividade de organismos aquáticos, sendo muito importante no processo de eutrofização

dos corpos hídricos. Apresenta-se principalmente na forma de fosfato, onde sua presença na água pode ser originária de processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica e chuva) ou de processos antropogênicos (despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais, fertilizantes e pesticidas, drenagem pluvial) (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

A qualidade da água vem sendo objeto de estudo por vários autores, tais como, Islam et al. (2010), Bregunçe et al. (2011), Sodr e et al. (2012), Basu e Lokesh (2013), Wotany et al. (2013), Sayed e Gupta (2013), Ndamitso et al. (2013), Rahman et al. (2013), Vishwakarma et al. (2013), Freire e Castro (2014), Souza e Gastaldini (2014); Pinheiro et al. (2014), Gandaseca et al. (2014), Saad et al. (2015), Silva e Porto (2015), Figueiredo et al. (2015), Lima et al. (2015), Souza e Silva (2015), Holgado-Silva et al. (2015) e Souza et al. (2017). Tais estudos destacam a relevância do estudo da qualidade da água, pois corpos hídricos contaminados ou poluídos podem tornar-se vetores de doenças com transmissão hídrica, gerando graves problemas de saúde pública, e podem afetar a demanda futura por água de boa qualidade.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbanizada e com intensa atividade antrópica.

Metodologia

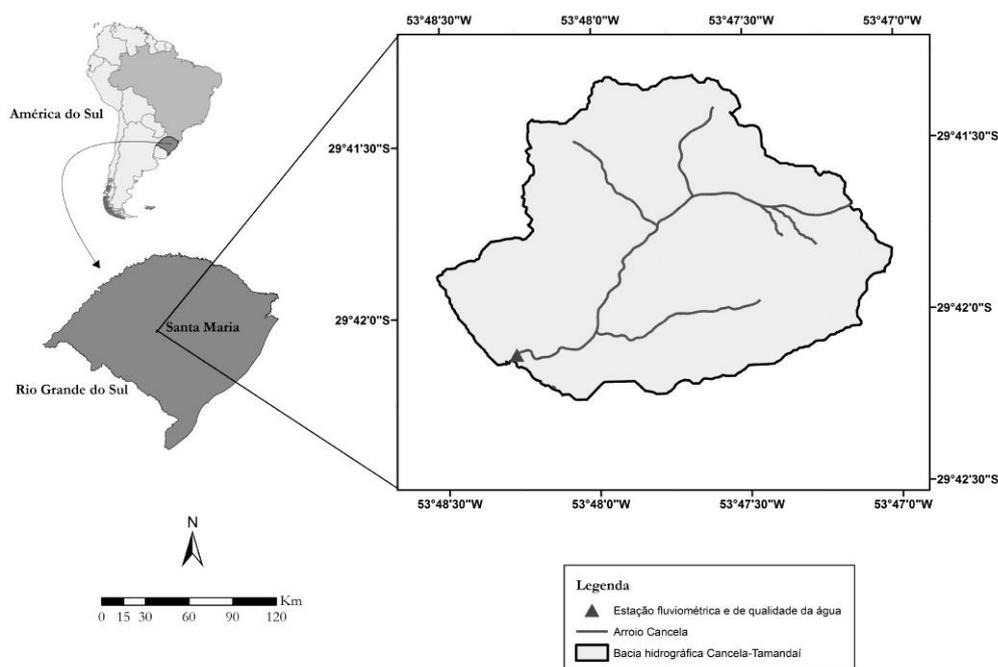
 rea de estudo

A  rea de estudo do presente trabalho foi a sub-bacia hidrográfica do arroio Cancela-Tamandaí (ACT), pertencente   bacia hidrográfica Vacacaí-Vacacaí Mirim. A sub-bacia Cancela-Tamandaí, com área de 2,7 km², encontra-se entre as coordenadas geográficas 53 47'11" e 53 48'17" de longitude oeste e 29 41'35" e 29 42'07" de latitude sul, e está situada na área urbana do município de Santa Maria, estado do Rio Grande do

Sul/Brasil. Destaca-se que para a elaboração das figuras 1, 2 foi utilizado o software Arcmap 10.1.

De acordo com IBGE (2010) a bacia apresenta uma população contribuinte de 14.293 habitantes e 6.231 domicílios. Ressalta-se que o exutório da bacia coincide com a estação fluviométrica e a estação de monitoramento da qualidade da água na bacia.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí e estação de monitoramento da qualidade d'água no ACT



Org.: dos Autores (2016)

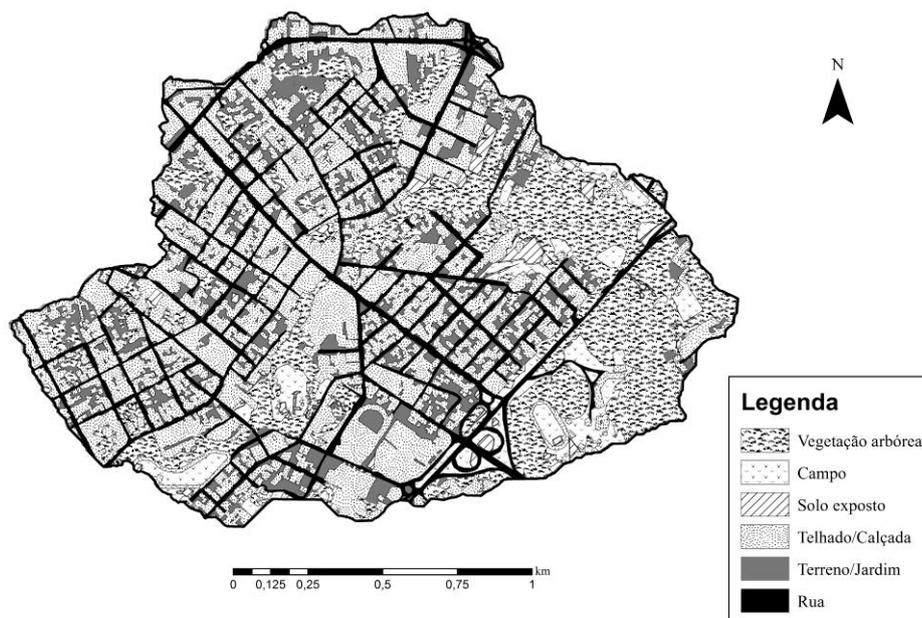
Em relação à climatologia do município, a precipitação média anual é de 1600 mm, sendo bem distribuída ao longo dos meses. A menor precipitação média ocorre no mês de novembro (120 mm), enquanto que a maior ocorre no mês de janeiro (160 mm). Quanto à sazonalidade dessas chuvas, a concentração de chuvas no inverno dá-se de maneira mais homogênea, sendo mais generalizadas e contínuas, enquanto no verão a

chuva é concentrada em períodos, sendo mais variáveis e descontínuas (ADSM, 2018).

O município de Santa Maria conta com 261.031 habitantes, com mais de 90% da população situada na zona urbana (IBGE, 2010). Para Martins et al. (2005) o município de Santa Maria apresenta uma ocupação urbana acelerada e desordenada, cuja expansão, em alguns aspectos, desconsidera o meio físico e na maioria dos casos, há o uso indiscriminado de espaços como: encostas íngremes, topos de morros, faixas marginais de cursos fluviais, áreas alagáveis e inundáveis, gerando deterioração ambiental. As elevações do terreno na bacia hidrográfica variam desde 81 m até 200 m acima do nível do mar, possuindo uma declividade média de 6,2%.

Na bacia Cancela-Tamandaí evidenciou-se seis usos do solo, sendo eles: campos, ruas, solos expostos, áreas impermeáveis (telhados, calçadas), terrenos/jardins e vegetação arbórea, ilustrados na Figura 2.

Figura 2 - Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí no ano de 2014



Org. : dos Autores (2016)

Observou-se que há predomínio de ruas e telhados/calçadas na bacia Cancela-Tamandaí, sendo aproximadamente 51% da área total da bacia composta é de áreas impermeáveis. Em relação à área total da bacia, os outros usos do solo foram de 6,5% para campos, 2,0% para solo exposto, 17,2% para terrenos/jardins e 23,5% de vegetação arbórea.

Ressalta-se que o arroio Cancela recebe grande parte do esgotamento cloacal e pluvial dos arredores, contribuindo para a degradação da qualidade d'água. O arroio não apresenta enquadramento conforme resolução CONAMA nº 357/2005 e seu curso não se encontra canalizado.

Monitoramento qualitativo e quantitativo

O monitoramento qualitativo e quantitativo na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí consistiu de coletas manuais e medição do perfil de velocidade do fluxo no arroio, sendo:

- Coleta manual na seção de monitoramento: a coleta manual foi realizada no centro da seção de amostragem em um ponto representativo da massa líquida, utilizando-se de recipientes plásticos limpos, previamente identificados, com enxágue dos frascos três vezes com a própria amostra e evitando aeração excessiva no momento da coleta.
- Medições dos perfis de velocidade na seção de monitoramento: para determinação das descargas líquidas, por meio do método da meia seção.

Para a avaliação qualitativa e quantitativa das águas foram realizadas 29 campanhas, em tempo seco, no período de 31/01/2013 a 18/03/2014, o ponto de amostragem para o monitoramento da qualidade da água está junto à estação fluviométrica Cancela-Tamandaí. A Tabela 1 mostra as datas das coletas, bem como o período de tempo seco antecedente (PTSA) às campanhas (em dias).

Tabela 1 . Datas, horários das coletas e PTSA

Coletas	Data das coletas	Horário da coleta	PTSA (dia)	Coletas	Data das coletas	Horário da coleta	PTSA (dia)
1	31/01/2013	11:30	7	16	30/10/2013	15:27	4
2	08/02/2013	09:15	5	17	15/11/2013	09:11	0
3	14/02/2013	09:20	0	18	20/11/2013	09:20	0
4	21/02/2013	09:30	0	19	27/11/2013	09:40	0
5	01/03/2013	09:55	5	20	02/12/2013	08:30	0
6	07/03/2013	10:40	3	21	14/01/2014	11:22	1
7	13/03/2013	10:20	0	22	15/01/2014	11:48	4
8	22/03/2013	15:15	2	23	31/01/2014	09:55	5
9	27/03/2013	14:10	6	24	04/02/2014	08:30	1
10	05/04/2013	12:40	0	25	19/02/2014	08:31	3
11	17/04/2013	14:30	0	26	26/02/2014	09:50	6
12	13/05/2013	14:44	0	27	27/02/2014	12:08	0
13	17/07/2013	13:15	2	28	11/03/2014	09:57	0
14	01/08/2013	10:25	2	29	18/03/2014	09:34	0
15	16/10/2013	10:38	0				

Org. : dos Autores (2016)

Os parâmetros de qualidade da água avaliados, metodologia utilizada e o limite de detecção do método de avaliação estão descritos, resumidamente, na Tabela 2. A metodologia utilizada para as análises seguiu a descrita no Standard Methods for the Examination of the water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF,2012).

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água, metodologia analítica, mínimo para detecção nas análises

Parâmetros de qualidade da água	Metodologia analítica	Mínimo para detecção
Temperatura da água	Termometria	0,1°C
Turbidez	Nefelométrico	0,1 NTU
Sólidos totais (ST)	Gravimétrico	0,1 mg/L
Sólidos suspensos (SS)	Gravimétrico	0,1 mg/L
Sólidos dissolvidos (SD)	Gravimétrico	0,1 mg/L
pH	Potenciométrico	0,1
Condutividade elétrica (CE)	Potenciométrico	0,1 µS/cm
Oxigênio dissolvido (OD)	Oxímetro	0,1 mg/L
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Winckler	0,1 mg/L
Demanda química de oxigênio (DQO)	Titulométrico-Refluxo	0,1 mg/L
Coliformes Totais (CT)	Ideex-colilert	1 NMP/100 mL
<i>Escherichia coli</i> (EC)	Ideex-colilert	1 NMP/100 mL
Cobre (Cu), Níquel (Ni),	ICP-MS	0,1 µg/L
Chumbo (Pb), Zinco (Zn)	ICP-OES	0,1 µg/L
Nitrito, Nitrato, Fosfato	Cromatografia Iônica	0,1 µg/L

Notas: ICP-MS: espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado; ICP-OES: espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado.

Org. : dos Autores (2016)

Análise Estatística

A partir dos dados de qualidade da água obtidos foram construídos boxplots com intervalo de confiança igual a 95%. Utilizou-se o *software* Minitab 16.

A vazão e os parâmetros de qualidade da água monitorados no ACT foram correlacionados, através do coeficiente de Pearson. O coeficiente de Pearson é um indicador que descreve a interdependência linear entre duas variáveis, que são completamente correlacionadas quando os valores são -1 e 1, negativa e positivamente, respectivamente; são independentes quando o valor é 0; e são parcialmente correlacionados em diferentes graus para valores intermediários. Assim, um valor de coeficiente de Pearson próximo de zero significa que não há correlação linear entre duas variáveis, embora não exclua outros tipos de correlação (BI et al., 2015). Foram consideradas correlacionadas as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação de Pearson maior que 0,50.

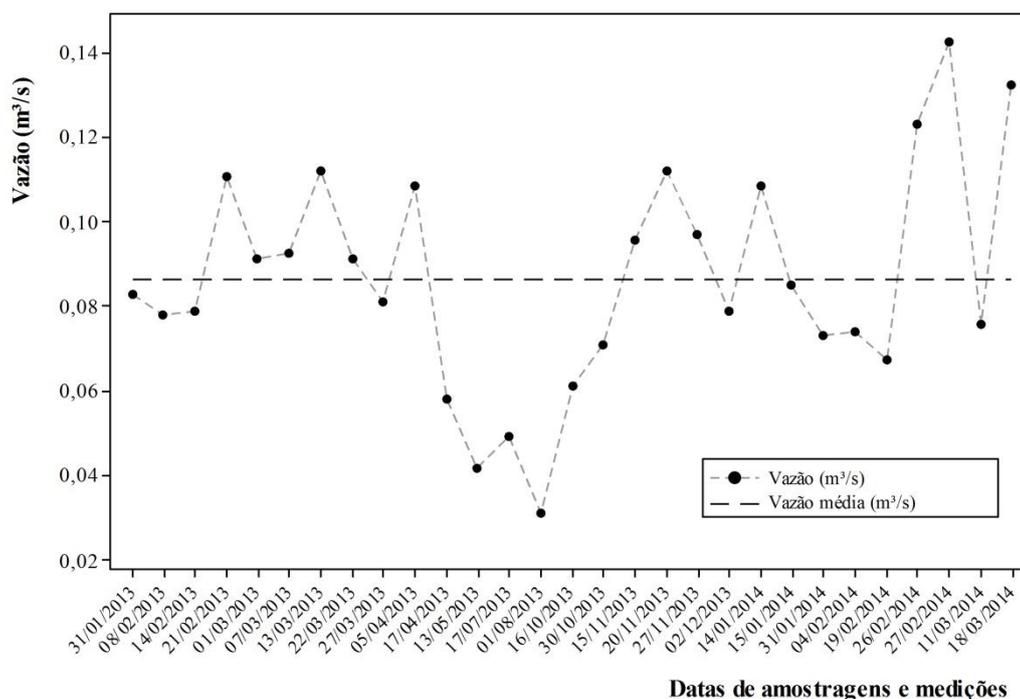
Resultados e discussão

Durante as campanhas de monitoramento da água no ACT, as vazões variaram de 0,031 m³/s a 0,142 m³/s, onde a vazão média foi de 0,086 m³/s, como ilustra a Figura 3. As vazões mais elevadas observadas no período de monitoramento foram obtidas no turno da manhã (entre 9:20 e 11:22) e as vazões mínimas foram observadas no turno da tarde (entre 13:15 e 14:44), indicando que as vazões no ACT podem ser influenciadas pelo horário das coletas e medições.

As vazões no ACT estão relacionadas com as variações das vazões de esgoto ao longo dos dias, que são influenciadas principalmente pela hora do dia. Observa-se esta variação no aumento da vazão de esgoto a partir das 8 horas da manhã, com o ápice ocorrendo no intervalo entre 10 e 12 horas e um decréscimo a partir das 12 horas, indo de acordo com os hábitos da população.

Contatou-se que as vazões elevadas foram obtidas para período de tempo seco antecedente (PTSA) menor ou igual a 1 dia, onde a vazão máxima observada foi obtida com ausência de PTSA (27/02/2014). Diante disto observa-se que o arroio Cancela-Tamandaí sofre grande influência do volume escoado na bacia e até mesmo das áreas vizinhas à bacia na ocorrência de precipitações. O uso e ocupação do solo na bacia, ou seja, a alta impermeabilização da bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí favorece, durante períodos de precipitação, o escoamento de grandes volumes que posteriormente são drenados para o corpo d'água.

Figura 3 - Vazões observadas no Arroio Cancela durante as campanhas de monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí



Org. : dos Autores (2016)

Destacam-se algumas importantes variações da qualidade da água ao longo do estudo. Durante o período analisado, as variações na temperatura da água ocorreram em função das variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. A menor temperatura da água, 8,10 °C, foi verificada

no mês de fevereiro, na coleta do dia 27/02/2014 (verão). Este fato pode ser explicado pela elevada vazão obtida no arroio, pois neste dia foi registrada a maior vazão do período de estudo, com PTSA igual a zero, ou seja, houve precipitação no dia/no dia anterior à campanha. Já a maior temperatura, como já era esperado, foi verificada no verão, no mês de fevereiro, na coleta de 14/02/2013.

O OD variou 0,36 a 6,1 mg/L, onde as baixas concentrações estão relacionadas com altas concentrações de matéria orgânica e vazões baixas. Girardi et al. (2016) relatam que o aumento na concentração de oxigênio dissolvido pode ser atribuído ao aumento da turbulência no fluxo do rio.

A CE está relacionada com a presença de sólidos dissolvidos na água, oriundos de lançamento de resíduos na água. No ACT as variações de CE foram de 297 a 373 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, sendo que valores acima de 100 são indicativos da ação humana. Para Souza e Gastaldini (2014) menores valores de condutividade elétrica (média de 55 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) foram encontrados em uma sub-bacia com pouca interferência antrópica, e os maiores valores, com média de 216 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, foram encontrados em uma sub-bacia mais urbanizada.

Os valores de turbidez variaram de 4 a 30 NTU. Lançamentos de efluentes domésticos, resíduos sólidos e erosão favorecem o aumento da turbidez da água, por isso os maiores valores foram verificados com menor PTSA, ou seja, após ocorrência de precipitação, assim como relatado por Girardi et al. (2016). O mesmo foi verificado para os ST, SS e SD, que variaram de 123 a 278 mg/L, 3 a 45 mg/L e 114 a 271 mg/L, respectivamente.

Em relação aos parâmetros biológicos, os CT variaram de 1,69E+05 a 8,16E+06 NMP/100 mL e as concentrações de EC variaram de 1,00E+04 a 1,39E+06 NMP/100 mL. As maiores concentrações foram verificadas com PTSA de 0 dias e de 4 dias, sendo 4 dias para os CT e de 0 dias de PTSA para os EC, pois com a ocorrência das chuvas, os esgotos domésticos

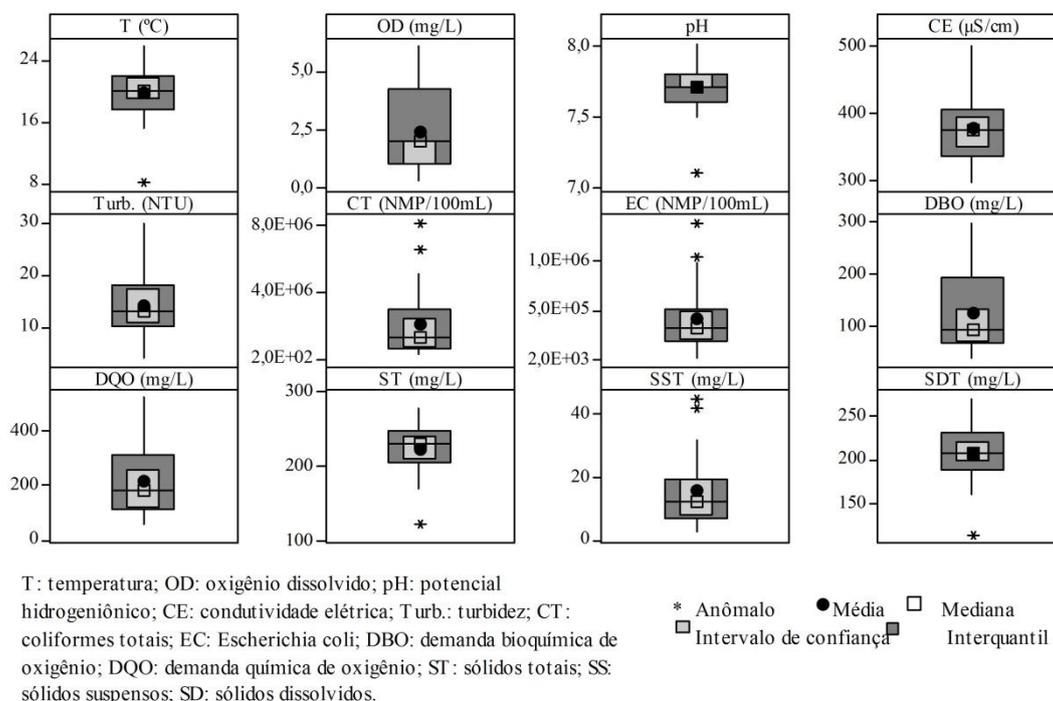
dispostos incorretamente (a céu aberto e na rede de drenagem urbana) são transportados através do escoamento superficial para o corpo hídrico. Já para PTSA de 4 dias as maiores concentrações são verificadas devido ao despejo contínuo de esgotos domésticos no corpo hídrico, que com baixas vazões tendem a se concentrar.

O indicativo da presença de matéria orgânica na água é dado pelos parâmetros DBO e DQO, que variaram de 38 a 298 mg/L e de 62 a 519 mg/L, respectivamente. Silva e Porto (2015) atribuem as altas concentrações de DBO em um corpo hídrico urbano à carga difusa trazida pelo escoamento superficial da bacia, por isso as maiores concentrações de DBO e DQO no ACT foram verificadas para PTSA de 1 dia.

Em relação aos limites estabelecidos na resolução CONAMA nº 357/2005, os parâmetros que se apresentaram acima dos valores máximos permitidos foram EC ($\leq 4,00E+03$ NMP/100mL para Classe 3), DBO (≤ 10 mg/L para Classe 3), Pb ($\leq 33\mu\text{g/L}$ para Classes 3 e 4) e, de modo indireto, fósforo total ($\leq 0,15$ mg/L para Classe 3), pois o fosfato apresentou-se acima do permitido para o fósforo total. O OD apresentou-se, na maior parte do estudo, abaixo do mínimo estabelecido para a Classe 3 ($\text{OD} \geq 4,0$ mg/L) em que as concentrações obtidas superiores a 4,0 mg/L foram observadas nas campanhas de maior vazão, ou seja, o turbilhonamento da água aumentou a reaeração nas águas do arroio Cancela. No entanto, a DBO permaneceu elevada mesmo nestas condições de vazão elevada, devido à carga orgânica adicional oriunda da drenagem urbana.

Os dados de qualidade da água estão apresentados na forma gráfica de boxplots com intervalo de confiança igual a 95%, ilustrados nas Figuras 4 e 5. Foram obtidos outliers superiores e inferiores (resultados anômalos), sendo superiores para CT, EC, SS, Cu, Pb, Zn, nitrito e nitrato. Já os outliers inferiores foram obtidos para temperatura, pH, ST e SD.

Figura 4 - Boxplots dos parâmetros de qualidade da água avaliados no período de 31/01/2013 a 18/03/2014



Org. : dos Autores (2016)

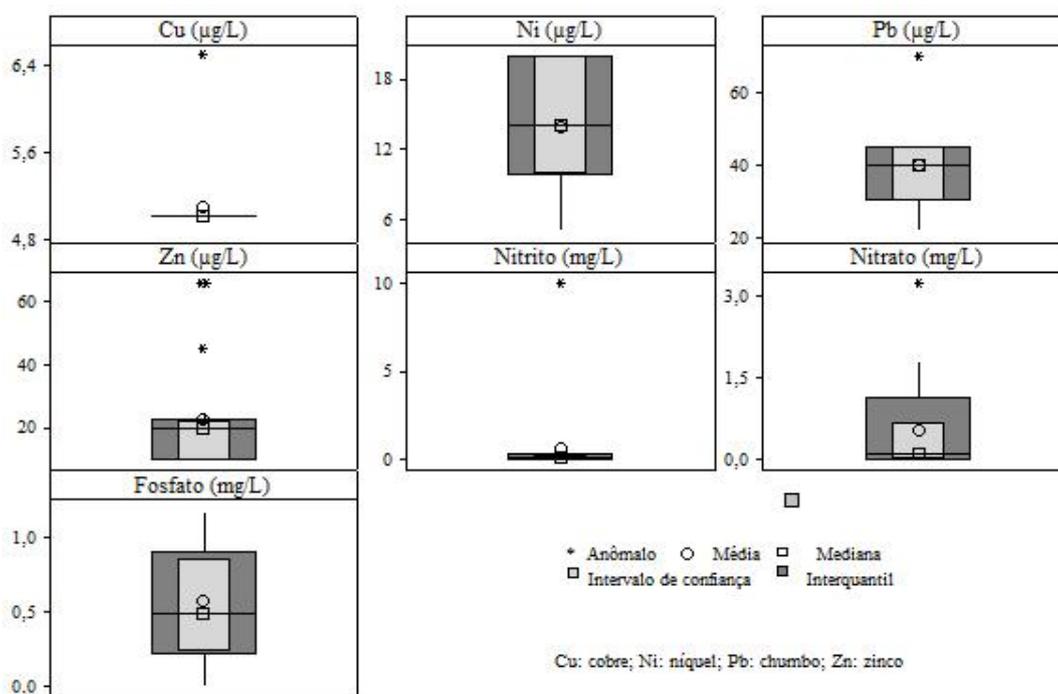
Em relação aos metais pesados avaliados as concentrações variaram de: 5 a 7 µg/L para Cu, 5 a 20 µg/L para Ni, 22 a 70 µg/L para Pb e 10 a 66 µg/L para Zn, com médias de 5 µg/L para Cu, 14 µg/L para Ni, 40 µg/L para Pb e 20 µg/L para Zn (Figura 5).

Gonçalves et al. (2015) avaliaram a distribuição espacial da concentração cobre, cromo, cádmio, manganês, ferro, chumbo e zinco em águas superficiais das bacias do rio Cuiabá e São Lourenço-MT, apresentando características de bacias rurais. Assim como na avaliação realizada no ACT eles também obtiveram concentrações dos metais pesados abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A exceção foi para o metal Pb, pois é um poluente predominante em áreas urbanas oriundo de descartes industriais e domésticos. Dentre os metais avaliados no ACT, a maior concentração média obtida foi a de Pb. Porém, o Pb não é essencial os seres vivos e é considerado tóxico. A urbanização

elevada e lançamento de efluentes domésticos sem tratamento prévio no corpo d' água foram as possíveis fontes de poluição da água do ACT por Pb.

Em um estudo semelhante a este Beck e Birch (2012) avaliaram as concentrações de SST, Cu, Pb, Zn em áreas urbanas na cidade de Sidney, obtendo concentrações de 13,0 mg/L, 8,5 µg/L, 3,0 µg/L, 25,0 µg/L, respectivamente. Observou-se que a concentração de Pb, obtida no arroio Cancela-Tamandaí, foi superior a encontrada por Beck e Birch (2012), o inverso ocorreu para concentração de Zn. Esta situação justifica-se pelo uso e ocupação do solo, em que na bacia Cancela-Tamandaí não há a presença de indústrias metalúrgicas e galvânicas, pois o acréscimo do Zn pode ser reflexo da presença deste tipo de empreendimento. Porém o Pb pode ser oriundo de efluentes domésticos, situação verificada no ACT devido às altas concentrações de DBO e EC, juntamente com as baixas concentrações de OD são indícios do lançamento inadequado de efluentes domésticos, sem que haja o tratamento preliminar adequado.

Figura 5 - Boxplots dos metais pesados e nutrientes avaliados no período de 31/01/2013 a 18/03/2014

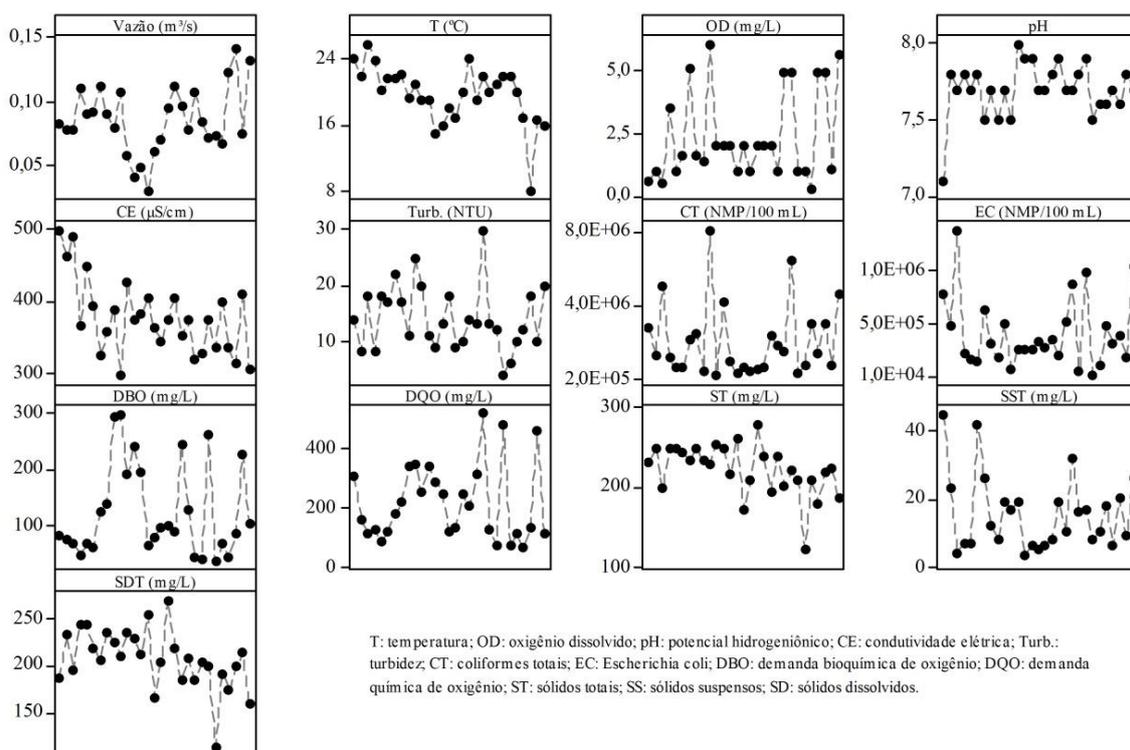


Org. : dos Autores (2016)

Na Figura 6 observa-se que as concentrações de DBO e DQO, além das amplas variações obtidas ao longo do estudo bacia Cancela-Tamandaí, apresentaram-se elevadas. Estas variações e magnitudes foram influenciadas, principalmente, pelo PTSA e pela sazonalidade. Em que, as maiores concentrações foram observadas para PTSA de 1 dia, bem como em sua ausência, ou seja, o escoamento gerado na bacia lança altas cargas de DBO e DQO no arroio.

O efeito de sazonalidade foi observado no período de férias (janeiro a março), com redução de DBO e DQO em relação aos outros períodos do estudo. Isso é um indicativo de que a população contribuinte da bacia é reduzida no período de férias, ou seja, ocorre menor

Figura 6 - Vazões observadas e parâmetros de qualidade da água durante as campanhas de monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí



Org. : dos Autores (2016)

De acordo com Lima et al. (2015) a deterioração da qualidade da água pode ocorrer de forma mais expressiva quando há lançamentos de efluentes domésticos. Assim sendo, as altas concentrações de DBO, DQO, CT e EC, juntamente com as baixas concentrações de OD obtidas no ACT, evidenciam a degradação da qualidade da água neste corpo hídrico.

Souza e Gastaldini (2014) avaliaram a qualidade da água em bacias hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim com uso e ocupação do solo distintos, no município de Santa Maria, RS. A bacia hidrográfica Alto da Colina com o maior percentual de urbanização, maior número de habitantes e menor área (2,0 km²) foi a que apresentou os piores resultados de degradação ambiental, consequência da contaminação por efluente doméstico e da elevada contribuição de matéria orgânica, agentes patógenos e nutrientes.

Constata-se que a bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí, com características análogas as do Alto da Colina, também sofre com o lançamento inadequado de efluente doméstico, o grande aporte de matéria orgânica e a alta contaminação por patógenos, que são ilustrados pelas altas concentrações de DBO, DQO e EC.

Freire e Castro (2014) avaliaram a correlação do uso e ocupação do solo e da qualidade da água em sub-bacias tributárias da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim no Estado do Espírito. Seus resultados indicaram que as bacias hidrográficas com alto grau de atividade antropogênica sobre o solo estão associadas com um índice mais elevado de degradação da qualidade d' água.

No ACT ocorre situação semelhante a esta, pois a bacia apresenta alto grau de urbanização, com aproximadamente 50% da área total da bacia composta por áreas impermeáveis. Consequentemente o volume do escoamento superficial é maior, favorecendo o transporte dos poluentes depositados nas superfícies impermeáveis para o arroio, ocasionando a diminuição da qualidade da água.

Lima et al. (2015) analisaram a variabilidade espacial da qualidade de água nos Rios Cuiabá e São Lourenço-MT, onde a maioria dos parâmetros

de qualidade da água analisados apresentaram significativo desvio padrão, para cada ponto amostral. Situação análoga ocorreu para os parâmetros avaliados no ACT, devido aos horários diferenciados de coleta, época do ano, estação seca e estação chuvosa, ilustrando uma variabilidade sazonal dos parâmetros de qualidade da água na bacia Canela-Tamandaí.

Para uma melhor caracterização da qualidade da água foi utilizada a correlação de Pearson (r) para analisar a relação entre os parâmetros. Na Tabela 2 apresentam-se os coeficientes de correlação de Pearson (r) para os parâmetros de qualidade da água no ACT. Temperatura e DBO apresentaram correlação positiva ($r=0,60$), pois a temperatura da água influencia de modo direto a atividade microbológica no corpo hídrico. O aumento da temperatura acelera as reações, facilita a ação tóxica de muitos compostos e diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água, como o oxigênio.

A correlação positiva entre Turbidez e EC ($r=0,63$) é explicada pela presença de efluentes domésticos na água, que eleva a turbidez. Sólidos totais e sólidos dissolvidos ($r=0,96$), apresentando relação direta entre si. As correlações entre cobre e nitrito ($r=0,99$), CE e nitrato ($r=0,66$), DBO e DQO ($r=0,78$), OD e nitrito ($r=0,85$) reforçam a ação de degradação antropogênica ocorrida na bacia, como o lançamento de efluentes sem o devido tratamento prévio e a presença de resíduos sólidos no corpo hídrico. A elevada correlação entre Cu e nitrito ($r=0,99$) evidencia que estes poluentes podem estar sendo provenientes da mesma fonte de poluição/contaminação.

Correlações de Pearson (r) positivas, variando de fracas a fortes, destes parâmetros também foram obtidas nos estudos de Chigor et al. (2012), Vishwakarma et al. (2013), Figueiredo et al. (2015) e Souza e Gastaldini (2014). Diante disto, observa-se que as características das bacias hidrográficas estudadas e a sazonalidade das coletas podem influenciar o modo como os poluentes se correlacionam.

Tabela 3 . Correlação de Pearson (r) dos parâmetros de qualidade da água em tempo seco na bacia Cancela-Tamandaí

Correlação	Temp.	Turb.	ST	SST	SDT	pH	CE	OD	DBO	DQO	CT	E.C	Cu	Ni	Pb	Zn	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Vazão
Temp.	1																			
Turb.	-0,18	1																		
ST	-0,10	0,13	1																	
SST	-0,11	0,50	0,16	1																
SDT	-0,08	0,03	0,96	0,05	1															
pH	0,90	0,01	0,55	0,16	0,54	1														
CE	0,20	-0,14	0,50	0,04	0,56	0,27	1													
OD	-0,36	0,27	-0,15	0,03	-0,20	0,09	-0,75	1												
DBO	0,60	-0,14	0,06	-0,26	0,06	-0,26	0,23	-0,23	1											
DQO	0,14	0,15	0,33	-0,19	0,32	-0,16	0,50	0,40	0,78	1										
CT	0,27	-0,05	0,06	0,02	-0,12	0,15	-0,35	0,15	0,01	-0,20	1									
E.C	-0,05	0,63	0,06	0,33	-0,07	0,04	-0,32	0,37	-0,10	-0,03	0,23	1								
Cu	-0,13	0,08	-0,14	0,20	-0,05	-0,12	0,04	-0,02	0,33	0,18	-0,42	0,12	1							
Ni	-0,18	-0,09	0,43	0,12	0,51	0,40	0,45	-0,32	-0,30	-0,14	-0,34	-0,17	-0,15	1						
Pb	-0,28	-0,25	0,10	0,16	0,14	-0,06	0,30	-0,18	-0,45	0,04	-0,31	-0,26	-0,25	0,14	1					
Zn	-0,07	-0,22	0,11	-0,27	0,21	0,34	0,20	-0,11	0,40	0,20	-0,06	-0,12	0,38	0,42	-0,37	1				
NO ₂ ⁻	0,04	0,00	-0,14	0,14	-0,12	-0,09	-0,10	-0,02	0,43	0,16	0,10	0,13	0,99	-0,36	0,43	-0,44	1			
NO ₃ ⁻	-0,62	0,30	-0,16	0,07	-0,23	-0,22	-0,75	0,85	-0,15	-0,32	0,45	0,30	-0,10	-0,25	-0,30	0,00	-0,06	1		
PO ₄ ³⁻	0,04	-0,05	0,14	0,30	0,20	0,31	0,66	-0,60	-0,16	-0,10	-0,17	-0,20	-0,10	0,34	0,10	0,30	-0,13	-0,60	1	
Vazão	-0,14	0,08	-0,07	-0,22	-0,08	-0,33	-0,24	0,30	0,14	0,03	-0,23	-0,27	0,16	-0,16	-0,17	-0,12	0,16	0,50	-0,50	1,00

Org. : dos Autores (2016)

Conclusões

Considerando o uso e ocupação do solo, as análises mostram que o ACT sofre interferência de maneira acentuada e negativa na qualidade da água. O escoamento superficial carrega os poluentes depositados nas superfícies impermeáveis para o ACT, justificado pelas altas concentrações de DBO, DQO, CT e EC na água após as chuvas.

As vazões do ACT estão relacionadas com o PTSA, onde as vazões mais elevadas foram verificadas em PTSA menor ou igual a 1 dia, ou seja, após a ocorrência de precipitações. Quando ficam muitos dias sem chover, as vazões do ACT são baixas.

Na maior parte do tempo, as concentrações de OD são inferiores a 4 mg/L. Concentrações de OD próximas a 6 mg/L só foram verificadas após a ocorrência de chuvas e consequentes vazões altas.

As fortes correlações entre OD e nitrato ($r=0,85$), DBO e DQO ($r=0,78$), EC e turbidez ($r=0,63$) ilustram a degradação da qualidade da água no ACT.

As concentrações de metais pesados encontradas na água não indicam uma contaminação elevada. O chumbo foi o metal presente em maior concentração no ACT, chegando a 70 $\mu\text{g/L}$.

A alta variabilidade dos parâmetros de qualidade da água é devido às interferências no ambiente, tais como, a sazonalidade das coletas, horário de coletas, do lançamento de efluentes e a acumulação de resíduos nas vias urbanas da bacia hidrográfica.

Referências

- ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. **Contaminação química e biorremediação do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H., SCHAEFER, C.E.G.R., (Eds.), Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, pp. 299-351, 2000.
- ADSM. Agência de Desenvolvimento de Santa Maria. **Santa Maria em Dados**. Santa Maria, 2018.

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, 2012.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22a ed., Washington: American Public Health Association; 1360 pp, 2012.
- BASU, S.; LOKESH, K. S. Spatial and temporal variations of river water quality: A case study of River Kabini at Nanjangud in Karnataka. **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, v, 5, n. 10, 2013, pp. 591-596.
- BECK, H. J.; BIRCH, G. F. Metals, nutrients and total suspended solids discharged during different flow conditions in highly urbanised catchments. **Environmental monitoring and assessment**, v. 184, n. 2, 2012, pp. 637-653. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1992-z>
- BI, E. G.; MONETTE, F.; GASPERI, J. Analysis of the influence of rainfall variables on urban effluents concentrations and fluxes in wet weather. **Journal Of Hydrology**, v. 523, 2015, pp.320-332. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.017>
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução CONAMA nº 357-Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em 21.09.2014.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos-2014**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 pp.
- BREGUNCE, D. T.; JORDAN, E. N.; DZIEDZIC, M.; MARANHO, L. T.; CUBAS, S. A. Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão dos Müller, Curitiba-PR. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, 2011, pp. 39-47. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v16n3.p39-47>
- CHIGOR, V. N.; UMOH, V. J.; OKUOFU, C. A.; AMEH, J. B.; IGBINOSA, E. O.; OKOH, A. I. Water quality assessment: surface water sources used for drinking and irrigation in Zaria, Nigeria are a public health hazard. **Environmental monitoring and assessment**, v. 184, n. 5, 2012, pp. 3389-3400. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2396-9>
- FIGUEIREDO, S. B.; AMORIM, R. S. S.; LOURENCETTI, C. Spacial and temporal characterization of water quality in the Cuiabá River Basin of Central Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n. 13, 2015, pp. 1647-1658. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9387>
- FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, 2014, pp. 41-49. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p41-49>
- GANDASECA, S.; ROSLI, N.; PAZI, A. M. M.; ARIANTO, C. I. Effects of land use on river water quality of Awat Awat Lawas Mangrove Forest Limbang Sarawak Malaysia. **International Journal of Physical Sciences**, v.9, n. 17, 2014, pp.386-396.
- GE, Y.; MURRAY, P.; HENDERSHOT, W. H. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. **Environmental Pollution**, v.1, n. 107, 2000, pp.137-144. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00119-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00119-0)

- GIRARDI, R.; PINHEIRO, A.; GARBOSSA, L. H. P.; TORRES, E. Water quality change of rivers during rainy events in a watershed with different land uses in Southern Brazil. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 21, n. 3, 2016, pp. 514-524. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011615179>
- GONÇALVES, P. E. R. S.; OLIVEIRA, A. P.; CRUZ, I. F.; ZEILHOFER, P.; DORES, E. F. G. C. Distribuição espacial de metais potencialmente tóxicos em água superficial nas bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço-MT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, 2015, pp.157- 168. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p157-168>
- GROMAIRE, M. C.; GARNAUD, S.; SAAD, M.; CHEBO, G. Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. **Water Researches**, v. 35, n. 2, 2001, pp. 521-533. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00261-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00261-X)
- HOLGADO-SILVA, H. C.; PADUA, J. B.; CAMILO, L. R.; DORNELES, T. M. A qualidade do saneamento ambiental no assentamento rural Amparo no município de Dourados-MS. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 3, 2014, pp. 535-545. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140311>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Atlas do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- ISLAM, M. H.; RAHMAN, M. M.; ASHRAF, F. U. Assessment of water quality and impact of effluents from fertilizer factories to the Lakhya River. **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, v. 2, n. 8, 2010, pp.208-221.
- LIMA, C. R. N.; ZEILHOFER, P.; DORES, E.; FANTIN-CRUZ, I. Variabilidade espacial da Qualidade de Água em Escala de Bacias-Rio Cuiabá e São Lourenço, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, 2015, pp.169-178. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p169-178>
- MADRID, L.; DÍAZ-BARRIENTOS, E.; MADRID, F. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. **Chemosphere**, v. 49, n. 10, 2002, pp. 1301–1308. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00530-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00530-1)
- MARTINS, F. B. Zoneamento Ambiental da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria-RS - (Estudo de caso). **Cerne**, v. 11, n. 3, 2005, pp. 315-322.
- NDAMITSO, M. M.; IDRIS, S.; LIKITA, M. B.; TIJANI, J. O.; AJAI, A. I.; BALA, A. A. Physico-chemical and Escherichia coli assessment of selected sachet water produced in some areas of Minna, Niger State, Nigeria. **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, v. 5, n. 3, 2013, pp. 134-140.
- PINHEIRO, A.; SCHOEN, C.; SCHULTZ, J.; HEINZ, K. G. H.; PINHEIRO, I. G.; DESCHAMPS, F. C. Relação Entre o Uso do Solo e a Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica Rural no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, 2014, pp. 127-139. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p127-139>
- RAHMAN, A.; ZAFOR, M. A.; RAHMAN, M. Surface water quality and risk assessment in the vicinity of Sylhet City. **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, v. 5, n. 1, 2013, pp. 29-34.
- SAAD, A. R.; MARTINEZ, S. S.; GOULART, M. E.; SEMENSATTO, D.; VARGAS, R. R.; ANDRADE, M. R. M. Efeitos do uso do solo e da implantação da estação de tratamento de esgoto sobre a qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, 2015, pp. 147-156. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p147-156>
- SAYED, R. A.; GUPTA, S. G. Ground water quality evaluation in Beed city, Maharashtra, India. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 51, 2013, pp. 7081-7085.

- SILVA, J. C. A.; PORTO, M. F. A. Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e Difusas. Córrego Ibiraporã, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, 2015, pp. 82-90. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p82-90>
- SODRÉ, F. F.; SCHNITZLER, D. C.; SCHEFFER, E. W.; GRASSI, M. T. Evaluating copper behavior in urban surface waters under anthropic influence. A case study from the Iguaçu River, Brazil. **Aquatic Geochemistry**, v. 18, n. 5, 2012, pp. 389-405. <https://doi.org/10.1007/s10498-012-9162-7>
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, 2014, pp. 263-274. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001097>
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G. Nonpoint pollution load in river catchments with different anthropic impacts: a case study in Southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 24, 2017, pp.1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7111-x>
- SOUZA, J. L.; SILVA, I. R. Avaliação da qualidade ambiental das praias da ilha de Itaparica, Baía de todos os Santos, Bahia. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, 2015, pp. 469-483. <https://doi.org/10.1590/1982-451320150308>
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 pp.
- VISHWAKARMA, S.; VARMA, A., SAXENA, G. Assessment of water quality of Betwa River, Madhya Pradesh, India. **International Journal of Water Resources**, v. 5, n. 4, 2013, pp. 217-222.