



Qualidade da água e do sedimento de fundo de alguns córregos do município de Castelo, Estado do Espírito Santo¹

Water and bottom sediment quality of some streams of Castelo city, Espírito Santo state

Atanásio Alves do Amaral^{2*}, Sérgio Ceotto Pires³, Jéferson Luiz Ferrari⁴

Resumo - No município de Castelo existem corpos hídricos em áreas agrossilvipastoris, utilizados para irrigação de lavouras, dessedentação animal e consumo humano. Objetivou-se, com esse estudo, avaliar a qualidade da água e do sedimento de fundo de oito córregos do município de Castelo, com base em variáveis físico-químicas. A temperatura, o oxigênio dissolvido (OD) e o pH da água foram medidos por meio de sonda. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas com uma pá de ponta chata, com volume de 2,565 dm³ e, depois de secas, foram homogeneizadas e encaminhadas para o laboratório, onde foram determinados o pH, os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, cobre, zinco, manganês, boro, sódio, carbono e matéria orgânica, a acidez potencial, a capacidade de troca catiônica, a soma de bases trocáveis e os índices de saturação de bases, de alumínio e de sódio. Verificou-se que o OD está abaixo do limite recomendado pelo CONAMA, na maioria dos pontos amostrados, mas o pH está dentro dos limites recomendados. No sedimento de fundo, os teores de ferro são altos, o que é uma característica dos solos da região. Com exceção do ferro e do manganês, os teores de minerais são baixos ou médios, na maioria dos pontos. A porcentagem de matéria orgânica é menor que 10% do peso seco, caracterizando o sedimento de fundo como mineral, em todos os pontos. O alto teor de areia indica pouca afinidade dos metais pelo sedimento de fundo. Essa condição, associada à acidez do sedimento de fundo, favorece a liberação dos minerais para a coluna de água, constatando-se o risco de contaminação ambiental.

Palavras-chave - Minerais do solo. Elementos-traço. Corpos hídricos.

Abstract - In Castelo city, there are water bodies in agroforestry areas, used for irrigating crops, watering animals and human consumption. This study aimed to evaluate the water and bottom sediment quality of eight streams in Castelo city, based on physico-chemical variables. Temperature, dissolved oxygen (DO) and pH were measured by a probe. 2,565 dm³ volume sediment samples were collected with a flathead shovel, dried, homogenized, and sent to the laboratory for analysis. pH, the contents of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminum, iron, copper, zinc, manganese, boron, sodium, carbon and organic matter, acidity potential, cation exchange capacity, sum of exchangeable bases and the saturation index of bases, aluminum, and sodium were determined. It was found that the OD was below the recommended limits set by CONAMA in most sites, but the pH was within recommended limits at all points. In the bottom sediment, the iron content was high, which is characteristic of soils of the region. With the exception of iron and manganese, the mineral content was either low or medium, in most points. The percentage of organic matter was less than 10% by dry weight, characterizing the sediment as mineral at all points. The high content of sand indicates low affinity of metals by sediment. This condition, associated with the acidity of the sediment, favors the leaching of minerals into the water column. This is a potential environmental contamination risk.

Key words - Soil minerals. Trace elements. Water bodies.

*Autor de correspondência.

Enviado para publicação em 24/07/2013 e aprovado em 05/07/2014.

¹Parte do trabalho de conclusão de curso do segundo autor.

²Professor Doutor Atanásio Alves do Amaral, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre, Setor de Aquicultura, Laboratório de Ecologia Aquática e Produção de Plâncton (LEAPP), Alegre, Espírito Santo, Brasil, atanasio@ifes.edu.br

³Sérgio Ceotto Pires, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre, Curso de Pós-Graduação lato sensu em Agroecologia, Alegre, Espírito Santo, Brasil, sergioceotto@hotmail.com.

⁴Professor Doutor Jéferson Luiz Ferrari, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre, Laboratório de Geoprocessamento, Alegre, Espírito Santo, Brasil, ferrarijuliz@gmail.com

Introdução

Entre as variáveis de qualidade da água, destacam-se a temperatura, o oxigênio dissolvido (OD), o pH e a quantidade de matéria orgânica (MO). A radiação solar é a principal variável que controla a temperatura da água. O pH varia em função da temperatura e dos teores de OD e MO. Ele afeta o desenvolvimento e o metabolismo dos organismos aquáticos (ESTEVEES, 2011). O teor de OD varia em função da temperatura, da atividade fotossintética, da turbulência da água, da vazão e da presença de sólidos em suspensão (BUENO *et al.*, 2005; ESTEVEES, 2011). A decomposição da matéria orgânica diminui o teor de oxigênio dissolvido e o pH da água, pela liberação de gás carbônico, que origina o ácido carbônico (ESTEVEES, 2011). O ideal é que o teor de OD seja maior que 5 mg L⁻¹ e o pH permaneça entre 6,5 e 9,0 (BRASIL, 2005; ESTEVEES, 2011).

A composição das águas dos rios apresenta variações determinadas por fatores como temperatura, umidade, vento, precipitação, tipo de rocha, vegetação, contribuição de águas subterrâneas e variações de fluxo (FRITZSONS *et al.*, 2003).

O sedimento de fundo é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos continentais, pois integra todos os processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no meio aquático (ESTEVEES, 2011). Na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais, a concentração dos compostos químicos no sedimento de fundo é significativamente maior do que nos demais compartimentos. As espécies químicas provenientes da alteração das rochas e dos solos, e também dos poluentes, ficam estocadas nos sedimentos de fundos (PEREIRA *et al.*, 2007), que funcionam como um reservatório de nutrientes (FURTADO *et al.*, 2002; ESTEVEES, 2011).

O estudo do sedimento de fundo tem grande importância na identificação de alterações ambientais e na detecção de fontes de poluição (ROBAINA *et al.*, 2002; ESTEVEES, 2011), pois o sedimento de fundo tem grande capacidade de acumular compostos em sua estrutura e pode ser utilizado para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após seu lançamento em águas superficiais (COTTA *et al.*, 2006). Aproximadamente 99% das espécies químicas presentes nos corpos hídricos fica armazenada no sedimento de fundo (PEREIRA *et al.*, 2007; EZAKI *et al.*, 2011), fazendo dele um dos integrantes mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos (ROBAINA *et al.*, 2002; ESTEVEES, 2011). Segundo Pereira *et al.* (2007) as camadas superficiais dos sedimentos de fundo são as que apresentam interesse ambiental e a retirada de alguns centímetros é suficiente para atender a maioria dos estudos.

Os poluentes acumulados no sedimento de fundo podem ser disponibilizados para a coluna de água, afetando os organismos (SOARES *et al.*, 1999). Muitos estudos documentaram a influência da contaminação do sedimento de fundo sobre a qualidade da água e a ampla incidência de contaminação dos sedimentos de fundo (BURTON Jr., 2002).

As alterações ambientais, embora tenham causas naturais, podem ser agravadas pelas atividades antrópicas decorrentes do uso e ocupação do solo, destacando-se o desmatamento, as práticas agrícolas, a mineração e a urbanização (MEDEIROS *et al.*, 2009).

No interior do município de Castelo, sul do Estado do Espírito Santo, existem vários córregos tributários do rio Castelo, Bacia do rio Itapemirim. Ao longo das margens desses córregos existem lavouras de café, áreas de pastagem e mineração de mármore e granito. A mata ciliar foi completamente suprimida e o solo em torno da bacia hidrográfica está ocupado de forma desordenada, contribuindo para a erosão. Todos esses fatores contribuem para a degradação da qualidade da água e do sedimento de fundo desses cursos d'água.

Objetivou-se, com esse estudo, avaliar a qualidade da água e do sedimento de fundo de oito córregos do município de Castelo, com base em variáveis químicas.

Material e métodos

Os córregos estudados atravessam as comunidades Água Limpa (afluente direito do Ribeirão Monte Alverne), Nogueira (afluente direito do Córrego da Nogueira), Povoação (afluente esquerdo do Ribeirão Monte Alverne), Monte Alverne (Ribeirão Monte Alverne), São Pedro (Córrego São Pedro), Córrego da Prata (Córrego da Prata), Conquista (Córrego Itororó) e Ribeirão do Meio (afluente esquerdo do Rio da Prata) (Figura 1 e Tabela 1).

Trata-se de cursos d'água de 1ª ordem, segundo o sistema de Horton-Strahler, caracterizando-se pela pequena extensão, baixa vazão e pouca profundidade. Eles não possuem tributários, apresentando largura menor que 1 m e profundidade máxima de 20 cm (Figura 2).

As amostragens foram realizadas no período seco, entre os dias 20/09/11 e 19/10/11. As coordenadas geográficas dos pontos de coleta das amostras de água e de sedimento de fundo foram determinadas com GPS Garmin Map 60CSX. Os dados encontram-se na Tabela 1.

A temperatura da água e o oxigênio dissolvido foram medidos com oxímetro YSI-55 e o pH foi medido com peagâmetro F-1002, ambos os aparelhos fabricados pela Bernauer Aquicultura.

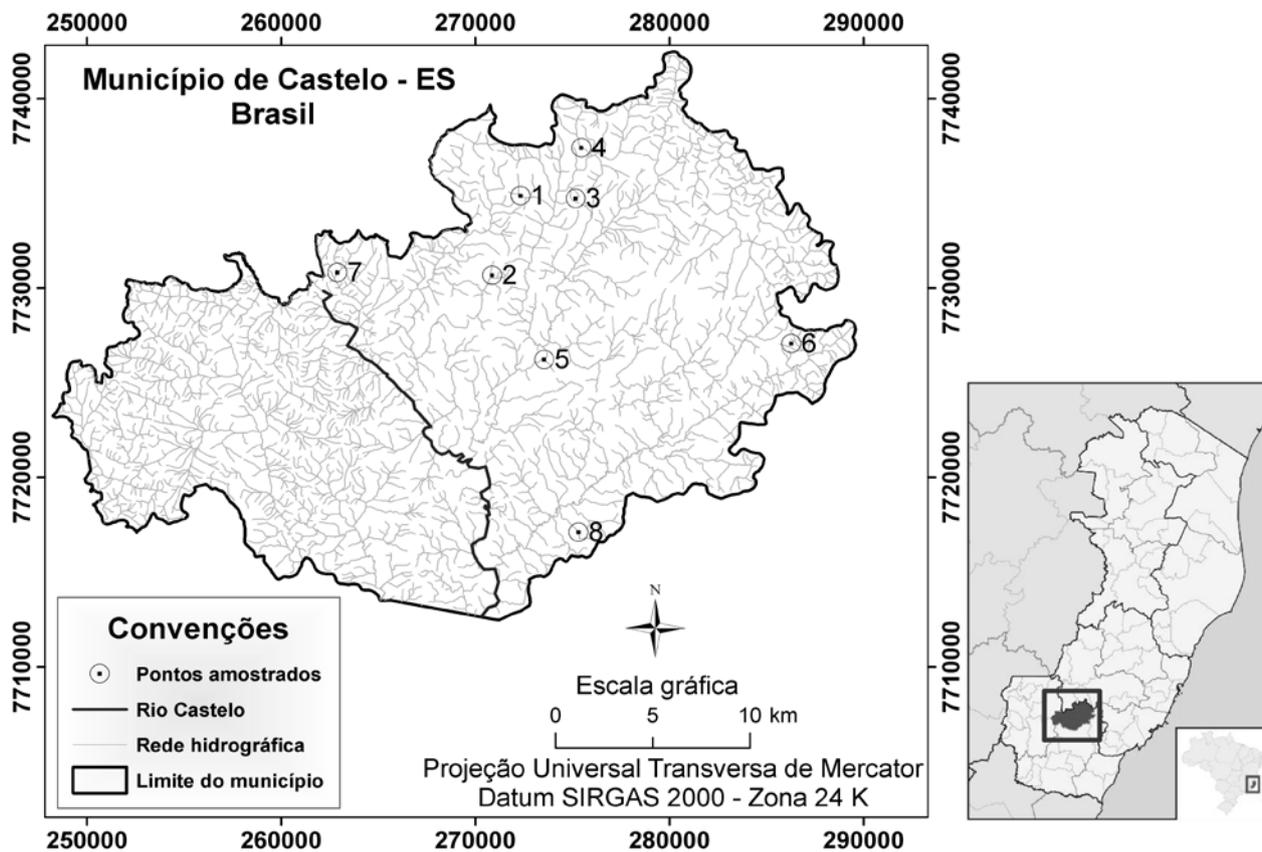


Figura 1- Mapa da rede hidrográfica do município de Castelo, indicando os pontos amostrados

Picture 1- Hydrographic network map of Castelo city, indicating the points sampled



Figura 2 - Vista parcial de dois córregos amostrados nesse estudo (setas). a. Afluente esquerdo do Ribeirão Monte Alverne (ponto 3); b. Córrego Itororó (ponto 7)

Figure 2 - Partial view of two streams sampled in this study (arrows). a. Left tributary of Ribeirão Monte Alverne (point 3); b. Stream Itororó (point 7)

Tabela 1 - Identificação, localização geográfica e altitude dos pontos amostrados e número de famílias em cada comunidade**Table 1** - Identification, geographical location and altitude of the sampled points and number of families in each community

Ponto	Comunidade	Coordenadas geográficas	Altitude (m)	Número de famílias
1	Água limpa	41° 09' 36" W, 20° 38' 22"S	513	70
2	Nogueira	41° 13' 00" W, 20° 30' 57"S	293	20
3	Povoação	41° 09' 30" W, 20° 28' 18"S	637	12
4	Monte Alverne	41° 08' 43" W, 20° 27' 12"S	592	65
5	São Pedro	41° 09' 30" W, 20° 33' 38"S	579	30
6	Córrego da Prata	41° 02' 48" W, 20° 33' 13"S	789	130
7	Conquista	41° 16' 18" W, 20° 30' 19"S	396	35
8	Ribeirão do Meio	41° 09' 36" W, 20° 38' 22"S	104	35

Em cada ponto foi coletada uma amostra da camada superficial do sedimento de fundo (profundidade 0-5 cm), com uma pá de ponta chata, cujo volume é de 2,565 dm³. Essas amostras foram secas ao ar livre, homogeneizadas e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). Foram determinados o pH, os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), alumínio (Al⁺³), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B), sódio (Na), carbono (C) e matéria orgânica (MO), a acidez potencial (H + Al), a capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva (t) e total (T), a soma de bases trocáveis (SB) e os índices de saturação por bases (V), por alumínio (m) e por sódio (IS Na).

As análises seguiram a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), descrita por Silva (1999): o pH foi extraído em água e medido com peagâmetro (Marconi MA PA 200); o teor de fósforo foi determinado em fotolorímetro (Bel Photonics 2000 UV); os teores de sódio e potássio foram determinados em fotômetro de chama (Digimed DM 61); os teores de cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês, com o auxílio de espectrofotômetro de absorção atômica (Shimadzu AA 6200); os teores de carbono, alumínio e matéria orgânica e a acidez potencial, por titulometria; a soma de bases trocáveis, a capacidade de troca catiônica efetiva e total, o índice de saturação por bases, o índice de saturação por alumínio e o índice de saturação por sódio foram calculados a partir das outras variáveis, por meio das seguintes fórmulas (PREZOTTI *et al.*, 2007):

$$SB = (K/390) + Ca + Mg + Na$$

$$CTC (t) = K + Ca + Mg + Na + Al$$

$$CTC (T) = K + Ca + Mg + Na + Al + H$$

$$V = (SB/T) \times 100$$

$$m = (Al/t) \times 100$$

$$IS Na = (Na/t) \times 100$$

Os resultados das análises de água foram discutidos com base na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e os resultados das análises de sedimento de fundo foram discutidos com base nos valores apresentados por Prezotti *et al.* (2007), para solos do Espírito Santo. Também foram utilizados os valores guia para sedimento de fundo da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e os índices *Threshold Effect Level* (TEL) e *Probable Effect Level* (PEL), estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) e recomendados pela Resolução CONAMA 344/2004 (BRASIL, 2004). TEL corresponde à concentração, em µg g⁻¹, abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos aos organismos e PEL corresponde à concentração acima da qual frequentemente esses efeitos são esperados.

Resultados e discussão

Os valores de temperatura, OD e pH da água apresentaram variações, entre os pontos amostrados, não sendo possível estabelecer um padrão para o comportamento observado. Os dados encontram-se na Tabela 2.

A temperatura variou de 17,6 °C a 27,7 °C. Os pontos 1 e 6 apresentaram temperaturas próximas, o mesmo ocorrendo com os pontos 3, 4, 5, 7 e 8, apesar das diferenças de altitude. Portanto, não foi possível estabelecer relação entre a altitude e a temperatura.

O teor de OD estava abaixo do recomendado pela Resolução CONAMA 357, para águas de Classe 2, nos pontos 2, 3, 5, 7 e 8, sendo mais crítica a situação

Tabela 2 - Variáveis físico-químicas da água, nos pontos amostrados**Table 2** - Physical and chemical water variables, in the sampled points

Ponto	Temperatura (°C)	OD (mg L ⁻¹)	pH
1	17,9	7,50	6,89
2	27,7	3,38	7,10
3	24,9	3,57	6,84
4	22,8	7,99	6,43
5	23,0	0,04	6,85
6	17,6	7,36	7,03
7	22,3	4,73	7,19
8	21,4	4,42	7,15

do ponto 5, que apresentou apenas 0,04 mg L⁻¹. Nos pontos 1, 4 e 6, o teor de OD ficou acima do mínimo recomendado pelo CONAMA (BRASIL, 2005).

O pH apresentou valores ideais para os organismos aquáticos (ESTEVES, 2011) em todos os pontos amostrados, com exceção do ponto 4, onde o valor estava ligeiramente abaixo do mínimo recomendado. Os pontos 1 e 4, com alto teor de OD, apresentaram pH menor que os pontos 2, 7 e 8, onde o teor de OD foi baixo. Esse comportamento não corresponde ao esperado, pois quando o teor de OD aumenta, o pH também deveria aumentar e vice-versa (ESTEVES, 2011).

As características dos corpos d'água, como velocidade da correnteza, incidência de luz, vegetação ciliar, etc., exercem influência sobre as variáveis temperatura, OD e pH (LARA *et al.*, 2005), o que pode

explicar o comportamento atípico dessas variáveis. Os resultados apresentados por Lucio *et al.* (2012), para o Rio Cachoeira, têm comportamento semelhante ao observado nesse estudo.

O sedimento de fundo de todos os pontos estudados é predominantemente arenoso, sendo classificado como franco-argilo-arenoso, nos pontos 1, 5, 7 e 8, e como franco-arenoso, nos pontos 2, 3, 4 e 6. Froehner e Martins (2008) atribuem o alto teor de areia na composição do sedimento de fundo à proximidade com as margens, ao contrário do sedimento de fundo localizado longe das margens. Nesse estudo, como os córregos são muito estreitos e rasos, todas as coletas foram realizadas próximo à margem.

A composição granulométrica e a classificação textural do sedimento de fundo são mostradas na Tabela 3.

A composição granulométrica do sedimento de fundo influencia a capacidade de adsorção de poluentes. Sedimentos de fundo arenosos favorecem a disponibilização dos poluentes para a coluna de água, ao contrário dos sedimentos de fundos com granulação fina (silte e argila). O silte e a argila, por apresentarem grande área superficial, em relação ao volume, têm maior capacidade de retenção dos poluentes (BURTON Jr., 2002).

O pH do sedimento de fundo foi ácido, em todos os pontos amostrados, e os valores das demais variáveis químicas variaram entre baixo, médio e alto, quando comparados com a tabela de Prezotti *et al.* (2007) (Tabela 4).

Com base em Prezotti *et al.* (2007), a acidez ativa foi baixa no ponto 1 (pH > 6,0), média nos pontos 3, 4, 5, 6 e 7 (pH entre 5,0 e 5,9) e alta nos pontos 2 e 8 (pH < 5,0). A acidez potencial (H + Al), por sua vez, foi baixa nos pontos 4 e 6, média nos pontos 1 e 3 e alta nos pontos 2, 5, 7 e 8 (Tabela 5).

Tabela 3 - Classificação textural do sedimento de fundo, nos pontos amostrados**Table 3** - Textural classification of the bottom sediment, in the sampled points

Ponto	Composição granulométrica (g kg ⁻¹)				Classificação
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
1	444	288	43	255	Franco-argilo-arenoso
2	798	310	47	145	Franco-arenoso
3	521	309	25	145	Franco-arenoso
4	537	227	50	186	Franco-arenoso
5	319	247	141	266	Franco-argilo-arenoso
6	771	124	-	105	Franco-arenoso
7	429	139	100	332	Franco-argilo-arenoso
8	477	141	130	252	Franco-argilo-arenoso

Tabela 4 - Classes de interpretação para algumas variáveis físicas e químicas do solo**Table 4** - Interpretation classes to some physical and chemical soil variables

Atributos	Unidade	Interpretação		
		Baixo	Médio	Alto
P	mg dm ⁻³	< 20	20 - 40	> 40
K	mg dm ⁻³	< 60	60 - 150	> 150
Ca	cmol _c dm ⁻³	< 1,5	1,5 - 4,0	> 4,0
Mg	cmol _c dm ⁻³	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
Al	cmol _c dm ⁻³	< 0,3	0,3 - 1,0	> 1,0
Acidez (pH)	-	6,0 - 6,9	5,0 - 5,9	< 5,0
H + Al	cmol _c dm ⁻³	< 2,5	2,5 - 5,0	> 5,0
CTC	cmol _c dm ⁻³	< 2,5	2,5 - 6,0	> 6,0
SB	cmol _c dm ⁻³	< 2,0	2,0 - 5,0	> 5,0
V	%	< 50	50 - 70	> 70
m	%	< 20	20 - 40	> 40
MO	dag kg ⁻¹	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
Fe	mg dm ⁻³	< 20	20 - 45	> 45
Cu	mg dm ⁻³	< 0,8	0,8 - 1,8	> 1,8
Zn	mg dm ⁻³	< 1,0	1,0 - 2,2	> 2,2
Mn	mg dm ⁻³	< 5,0	5,0 - 12	> 12

Fonte: Prezotti *et al.* (2007) (modificado)

O pH influencia a mobilidade e a precipitação de metais (LUIZ-SILVA *et al.*, 2002): a alcalinidade favorece a precipitação dos metais, enquanto a acidez aumenta a solubilidade deles, possibilitando o transporte para outros locais (PREZOTTI *et al.*, 2007). A disponibilidade dos minerais Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu está relacionada à acidez do solo, que deve ser avaliada em relação à acidez ativa (pH) e à acidez trocável (Al³⁺), à saturação por alumínio (m) e por bases (V), à acidez potencial (H + Al) e ao teor de MO, variáveis relacionadas entre si (FREIRE, 2006).

Em todos os pontos amostrados, o sedimento de fundo apresentou pH ácido, o que favorece a mobilidade dos metais e sua solubilização, aumentando o risco de poluição ambiental. Reis *et al.* (2009) atribuíram os baixos valores de pH do solo à redução da SB. Nesse estudo, ao contrário, o ponto com maior valor de SB foi o que apresentou o menor pH. Nos demais pontos não se observou relação entre essas duas variáveis.

O teor de fósforo foi baixo nos pontos 2, 4, 5, 6 e 7, e médio nos pontos 1, 3 e 8 (Tabelas 5). O fósforo é o principal elemento responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos continentais (ESTEVES, 2011). Nesse estudo, o teor de P ficou abaixo do valor de alerta (2.000 g kg⁻¹) estabelecido pela Resolução CONAMA 344 (BRASIL, 2004), em todos os pontos amostrados. O

valor de alerta é o valor acima do qual existe risco de dano ambiental.

O conjunto das variáveis K, Na, Ca, Mg, Al, H + Al, SB, CTC (t), CTC (T), V, m, ISNa e MO constitui o complexo de troca de cátions, que será discutido em conjunto. O teor de K foi baixo nos pontos 3, 4, 5, 6 e 8 e médio nos pontos 1, 2 e 7. O menor teor de Na foi 10 mg dm⁻³, no ponto 6, e o maior foi 54 mg dm⁻³, no ponto 8; o teor de Ca⁺² foi baixo nos pontos 3, 5, 6 e 7, médio nos pontos 1, 2 e 4, e alto no ponto 8; o teor de Mg⁺² foi baixo nos pontos 3, 4, 5, 6 e 7, médio no ponto 1 e alto no ponto 8; a acidez trocável (Al³⁺) foi baixa nos pontos 1, 3, 4, 6 e 8, e alta nos pontos 2, 5 e 7; a acidez potencial (H + Al) foi baixa, nos pontos 4 e 6, média nos pontos 1 e 3, e alta, nos pontos 2, 5, 7 e 8; a SB foi baixa nos pontos 3, 5, 6 e 7, média nos pontos 1, 2 e 4, e alta no ponto 8; a CTC efetiva (t) foi baixa nos pontos 3, 5 e 6, média nos pontos 1, 2, 4 e 7, e alta no ponto 8; a CTC a pH 7,0 foi baixa no ponto 6, média nos pontos 1, 3 e 4, e alta nos pontos 2, 5, 7 e 8; a saturação por bases (V) foi baixa nos pontos 2, 3, 5, 6 e 7, e média nos pontos 1, 4 e 8; o índice de saturação de alumínio (m) foi baixo nos pontos 1, 2, 3, 4, 6 e 8 e médio nos pontos 5 e 7; o ISNa variou de 1,16, no ponto 1, a 5,61, no ponto 3; o teor de MO foi inferior a 10%, em todos os pontos amostrados (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores das variáveis químicas do sedimento de fundo, nos pontos amostrados**Table 5** - Chemical variables values of the bottom sediment in the sampled points

Variável analisada	Unidade	Ponto Amostrado							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH	-	6,2	4,9	5,1	5,9	5,6	5,9	5,2	4,0
P	mg dm ⁻³	26,7	9,7	24,7	6,1	11,5	9,3	3,3	37,7
K	mg dm ⁻³	73	74	25	25	17	26	101	32
Na	mg dm ⁻³	13	33	20	23	14	10	19	54
Ca+2	cmol _c dm ⁻³	3,85	2,78	1,03	2,42	1,02	1,15	1,00	10,37
Mg+2	cmol _c dm ⁻³	0,78	0,56	0,17	0,46	0,20	0,27	0,32	1,68
Al+3	cmol _c dm ⁻³	0,00	0,45	0,20	0,00	0,65	0,05	1,10	0,80
H+Al	cmol _c dm ⁻³	2,6	6,3	4,0	2,3	9,8	2,1	8,8	11,0
SB	cmol _c dm ⁻³	4,88	3,67	1,35	3,04	1,32	1,53	1,66	12,36
CTCef (t)	cmol _c dm ⁻³	4,88	4,12	1,55	3,04	1,97	1,58	2,76	13,16
CTC (T)	cmol _c dm ⁻³	7,48	9,97	5,35	5,34	11,12	3,63	10,46	23,36
V	%	65,2	36,8	25,2	56,9	11,9	42,1	15,9	52,9
m	%	0,00	10,9	12,9	0,0	33,0	3,2	39,9	6,1
IS Na	%	1,16	3,48	5,61	3,29	3,09	2,75	2,99	1,78
MO	dag kg ⁻¹	2,85	3,95	1,97	0,94	2,82	0,91	1,34	2,10
Zn	mg dm ⁻³	9,5	4,7	5,8	11,6	0,6	2,3	2,1	10,1
Fe	mg dm ⁻³	607,0	1714,4	2487,1	884,2	57,9	562,3	1026,1	2357,7
Mn	mg dm ⁻³	204,1	96,2	266,5	258,5	1,2	29,0	38,9	352,8
Cu	mg dm ⁻³	5,73	2,10	1,45	2,47	0,48	0,69	0,86	4,96
B	mg dm ⁻³	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3

(H + Al = acidez potencial; SB = soma de bases trocáveis; CTC (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; CTC (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação de alumínio; IS Na = índice de saturação de sódio; MO = matéria orgânica)

Os solos brasileiros são pobres em potássio, cujo teor médio varia com o material de origem e as perdas ou ganhos sofridos. Uma baixa capacidade de troca catiônica do solo implica em baixa capacidade de armazenar o K, que é lixiviado facilmente (KINPARA, 2003).

O Ca²⁺ geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos, típicos do território brasileiro. A relação Ca²⁺/Mg²⁺ é importante, pois eles competem pelos sítios de adsorção no solo, havendo preferência pelo cálcio, em relação ao magnésio, no complexo de troca do solo (SALVADOR *et al.*, 2011). Esse fato explica os maiores teores de Ca²⁺, em relação ao Mg²⁺, nos pontos amostrados e também nas tabelas de referência utilizadas.

O Na⁺ é um cátion altamente solúvel, capaz de aumentar a condutividade elétrica e provocar diminuição no potencial osmótico do solo (SILVA *et al.*, 2010). É abundante na natureza e pode ser adsorvido aos colóides do solo. Em concentração elevada, é capaz de deslocar o Ca²⁺ e o K⁺, afetando a estrutura do solo (OLIVEIRA *et*

al., 2002). Não foram encontrados valores padrão para comparação do teor de Na. Quanto ao ISNa, o valor máximo recomendado para solos é 15% (RICHARDS apud SILVA *et al.*, 2010). Nesse estudo, o valor do ISNa foi menor que o valor máximo recomendado, em todos os pontos.

Os óxidos de alumínio contribuem eficazmente para a estrutura dos solos tropicais, sendo altamente benéficos, mas o alumínio trocável (Al³⁺) é considerado o inimigo número um de todas as culturas, por sua toxidez (RONQUIM, 2010). Valores de pH baixos favorecem a solubilização do alumínio (PREZOTTI *et al.*, 2007) e os solos ácidos podem conter níveis tóxicos de Al³⁺ (RONQUIM, 2010). Entretanto, se o teor de Al³⁺ não ultrapassar determinada porcentagem dos cátions existentes na CTC efetiva, ele não será prejudicial. O sedimento de fundo de todos os pontos analisados apresentou pH ácido, o que favorece a liberação do Al³⁺. A situação é preocupante principalmente no ponto 7, onde o teor de Al³⁺ foi alto, segundo a classificação de Prezotti *et al.* (2007).

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo representa a quantidade total de cátions retidos à superfície do mesmo, em condição permutável. Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável. A CTC pode ser expressa como CTC total (T), quando considera todos os cátions permutáveis do solo ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), ou como CTC efetiva (t), quando não considera o íon H^+ (RONQUIM, 2010).

Um solo pode apresentar alto valor de T e baixo valor de t (RONQUIM, 2010). Segundo Cotta (2006), valores de t maiores que $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ representam uma elevada capacidade do sedimento de fundo de reter cátions, a um valor de pH próximo ao natural. Nesse estudo t foi maior que $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ apenas no ponto 8.

O índice V representa a razão percentual entre SB ($\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}$) e T. Quando $V \geq 50\%$, o solo é classificado como eutrófico; caso contrário, ele é classificado como distrófico. O índice V obtido nesse estudo caracteriza o sedimento de fundo dos pontos 2 a 7 como distrófico, e o sedimento de fundo dos pontos 1 e 8 como eutrófico (COSTA *et al.*, 2008). Solos distróficos tendem a apresentar maior índice m (RONQUIM, 2010). Esse fato foi constatado nos pontos 2, 3, 5 e 7, distróficos, que apresentaram índice m bastante superior ao dos pontos 1 e 8, eutróficos. Entretanto, os pontos 4 e 6, embora distróficos, apresentaram baixo índice m.

O teor de MO, inferior a 10% da matéria seca, caracteriza o sedimento de fundo de todos os pontos como inorgânico, o que favorece a solubilização dos minerais na coluna de água (CAMPAGNA *et al.*, 2008). Não foi observada relação entre a quantidade de MO e a CTC, como no estudo de Campos *et al.* (2012), que associaram a redução da CTC à redução da quantidade de MO, em solos da Amazônia.

Quanto aos micronutrientes, com base em Prezotti *et al.* (2007), pode-se afirmar que o teor de Zn foi baixo no ponto 5 e alto nos demais pontos; o teor de Fe foi alto em todos os pontos; o teor de Mn foi baixo no ponto 5 e alto em todos os outros pontos, atingindo o valor máximo no ponto 8. O teor de cobre foi baixo nos pontos 5 e 6, médio, no ponto 7, e alto, nos pontos 1, 2, 3, 4 e 8. O teor de boro foi baixo, nos pontos 3 a 8, e médio, nos pontos 1 e 2.

A disponibilidade de Zn é inversamente proporcional ao pH, predominando a forma solúvel (Zn^{+2}) em pH abaixo de 6,0 (SILVA *et al.*, 2007). Nesse estudo, com exceção do ponto 1, todos os pontos apresentaram pH inferior a 6,0 (Tabela 5).

Os altos teores de Fe encontrados em todos os pontos são característicos dos solos da região, ricos em óxidos de ferro. Este é um elemento muito abundante no

substrato e em vários solos, tendendo a concentrações elevadas. Ronquim (2010) afirma que os óxidos de ferro e de alumínio são os principais componentes da fração mineral dos solos tropicais. Segundo a USEPA (1993) os ecossistemas aquáticos com concentração de Fe até $17.000 \text{ mg dm}^{-3}$ são considerados não poluídos. Em todos os pontos estudados, a concentração de Fe ficou abaixo desse valor.

Em relação ao Mn, o ponto 8 se enquadra na categoria “moderadamente poluído”, e os outros pontos se enquadram na categoria “não poluído” (USEPA, 1993). Os solos ácidos tendem a apresentar altas concentrações de Mn (RONQUIM, 2010), como apresentado nesse estudo.

Os valores TEL e PEL, estabelecidos pelo CCME (BRASIL, 2004), correspondem, respectivamente, a 35,7 e $197 \mu\text{g g}^{-1}$, para o Cu, e 123 e $315 \mu\text{g g}^{-1}$, para o Zn. Nesse estudo os teores de Cu e Zn permaneceram abaixo do TEL, não representando risco para o ambiente. Em relação a esses dois elementos, o sedimento de fundo apresentou ótima qualidade.

Conclusões

Em relação à temperatura e ao pH, a qualidade da água está dentro dos padrões esperados para águas de Classe 2, porém, em relação ao OD, o padrão de qualidade corresponde à Classe 3, na maioria dos pontos.

O sedimento de fundo é inorgânico, em todos os córregos.

O alto teor de areia indica pouca afinidade dos minerais pelo sedimento de fundo. Essa condição, associada ao predomínio de matéria inorgânica e à acidez do sedimento de fundo, favorecem a liberação de minerais para a coluna d'água. Constata-se o risco de contaminação ambiental.

Literatura científica citada

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 344, de 25 de março de 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde - Conchal - SP. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 742-748, 2005.

BURTON Jr., G. A. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, v. 3, p. 65-75, 2002.

- CAMPAGNA, A. F.; FRACÁCIO, R.; RODRIGUES, B. K.; ELER, M. N.; FENERICH VERANI, N.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Analyses of the sediment toxicity of Monjolinho River, São Carlos, São Paulo State, Brazil, using survey, growth and gill morphology of two fish species (*Danio rerio* and *Poecilia reticulata*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 1, p. 193-201, 2008.
- CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 6, n. 2, p.102-109, 2012.
- COSTA, M. C. G.; FERREIRA, G. B.; ARAÚJO, A. M. Apostila do curso de interpretação de análises de solo e recomendação de calagem e adubação no Estado de Roraima. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008.
- COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 1, 2006.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MOSCHINI, F. A. Avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do Córrego do Ajudante, Salto (SP). São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 415-430, 2011.
- FREIRE, F. M. **Cultivo do sorgo**. 2 ed. Embrapa milho e sorgo, 2006. Versão eletrônica. disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo_2ed7index.htm. Acesso em: 24 jan. 2012.
- FRITZSONS, E.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. E. Consequências da alteração da vazão sobre alguns parâmetros de qualidade de água fluvial. **Revista Floresta**, v. 33, n. 2, p. 201-214, 2003.
- FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2020-2026, 2008.
- FURTADO, A. L. S.; CASPER, P.; ESTEVES, F. A. Methanogenesis in an impacted and two dystrophic coastal lagoons (Macaé, Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, p. 195-20, 2002.
- KINPARA, D. I. A importância estratégica do potássio para o Brasil. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2003. (Documentos, 100).
- LUCIO, M. Z. T. P. Q. L.; SANTOS, S. S.; SILVA, D. M. L. Hydrochemistry of Cachoeira River (Bahia State, Brazil). **Acta Limnológica Brasiliensis**, v. 24, n. 2, p. 181-192, 2012.
- LUIZ-SILVA, W.; MATOS, R. H. R.; KRISTOSCH, G. C. Geoquímica e índice de geoacumulação de mercúrio em sedimentos de superfície do estuário de Santos - Cubatão (SP). **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 753-756, 2002.
- MEDEIROS, G. A.; ARCHANJO, P.; SIMIONATO, R.; REIS, F. A. G. V. Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do Córrego Recanto, em Americana, no Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2009.
- OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 505-519, 2002.
- OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de três Marias, Minas Gerais**. 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências.
- PEREIRA, J. C.; GUIMARÃES-SILVA, A. K.; NALINI JÚNIOR, H. A.; PACHECO-SILVA, E.; LENA, J. C. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos-traço em sedimentos superficiais. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1249-1255, 2007.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5. ed. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007, 305 p.
- REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 52, p. 37-47, 2009.
- 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 Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, v. 23, n. 2, p. 35-47, 2002.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa comunicação para transferência de informação, 1999. 370 p.
- SILVA, E. de B.; FARNEZI, M. M. de M.; PAULO PINHO, P. J. de; RODRIGUES, M. G. V.; CARVALHO, J.G. de. Aplicação de doses de zinco, via solo, na bananeira “prata anã” (AAB) irrigada, no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1497-1502, 2007.
- SILVA, D. de F.; MATOS, A. T. de; PEREIRA, O. G.; CECON P. R.; MOREIRA, D. A. Disponibilidade de sódio em solo com capim tifton e aplicação de percolado de resíduo sólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.10, p.1094-1100, 2010.
- SOARES, H. M. V. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; MACHADO, A. A. S. C.; ESTEVES da SILVA, J. C. G. Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave River Basin (Portugal): multivariate analysis of data. **Environmental Pollution**, v. 105, p. 311-323, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Selecting remediation techniques for contaminated sediments. Disponível em: <<http://www.epa.gov/waterscience/library/sediment>> Acesso em: 24 jan. 2013.