

RELAÇÕES HIDROQUÍMICAS APLICADAS A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO CÓRREGO IBITINGA, RIO CLARO (SP)

Sergio Ricardo CHRISTOFOLETTI¹, Fabiano Tomazini da CONCEIÇÃO², Eder Paulo SPATTI JUNIOR³

- (1) Instituto Florestal - Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade - Secretaria do Meio Ambiente-SP. Avenida Navarro de Andrade S/N. CEP 13500.970. Rio Claro-SP. Endereço eletrônico: sergioricardoc@gmail.com.
(2) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Avenida 24-A, 1515 - Bela Vista - Rio Claro - SP - CEP 13506-90. Endereço eletrônico: ftomazini@rc.unesp.br.
(3) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Avenida 24-A, 1515 - Bela Vista - Rio Claro - SP - CEP 13506-90. Endereço eletrônico: ederspatti@hotmail.com

Introdução
Caracterização da Área de Estudo
Materiais e Técnicas
Resultados e Discussões
 Parâmetros físicos-químicos
 Parâmetros químicos
 Classificação das águas fluviais da Bacia do Córrego Ibitinga
 Fluxo anual de material dissolvido e em suspensão
Considerações Finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Este trabalho avaliou a qualidade da água fluvial na bacia do Córrego Ibitinga, localizada no município de Rio Claro (SP), proporcionando informações a um diagnóstico dos recursos hídricos nesta bacia hidrográfica e, conseqüentemente, ao planejamento ambiental da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade. Cinco pontos de amostragem foram escolhidos e as campanhas de campo realizadas entre agosto e dezembro de 2010, período que compreende a variação sazonal mais extrema na vazão do Córrego Ibitinga, sendo analisado: vazão, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais em suspensão, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , HCO_3^- , F^- e Cl^- . As relações hidroquímicas demonstraram que as características das águas fluviais da bacia do Córrego Ibitinga sofrem alterações não somente pelos processos de intemperismo das rochas desta bacia hidrográfica, mas também pelo uso da terra, principalmente o cultivo de cana de açúcar, na região à montante da Floresta Estadual, provocando o assoreamento e eutrofização da represa localizado na região central desta floresta. Assim, programas de mitigação e recuperação de áreas degradadas devem ser adotados na área agrícola a montante da Floresta Estadual, além de programas de educação ambiental e conscientização da sociedade do município de Rio Claro sobre a preservação e conservação das águas fluviais da bacia do Córrego Ibitinga.

Palavras-chave: Geoquímica de águas fluviais, Bacia hidrográfica, Uso da terra, Influências antropogênicas, Gerenciamento ambiental.

ABSTRACT - This study evaluated the quality of freshwater in the Ibitinga Stream basin, located in Rio Claro (SP), providing information to the water resources diagnostic in this watershed and, consequently, to the environmental planning of the Edmundo Navarro de Andrade State Forest. Five sampling points were chosen and field campaigns carried out between August and December 2010, a period that includes the most extreme seasonal variation in the flow Ibitinga Stream, being analyzed: discharge, temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, total dissolved solids, total suspension solids, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , HCO_3^- , F^- and Cl^- . The hydrochemical relationships demonstrated that the characteristics of freshwater from the Ibitinga Stream basin undergoes changes due to chemical weathering of the rocks and, mainly, for the land use, especially the sugar cane crops in the region upstream of State Forest, causing siltation and eutrophication of the reservoir located in the central area of this forest. Thus, programs for mitigation and restoration of degraded areas should be adopted in the agricultural area upstream of State Forest, as well as programs of environmental education and awareness of society of Rio Claro on the preservation and conservation of the freshwaters from the Ibitinga Stream basin.

Key-words: Geochemistry of freshwaters, Watershed; Land use; Anthopogenic influences; Environmental management.

INTRODUÇÃO

A água doce representa apenas 3 % do total de água na natureza. Os restantes 97 % encontram-se nos oceanos e mares salgados. A maior parte desta água doce, aproximadamente

2,3% dos 3% restantes, está congelada nas calotas polares e geleiras, ou em lençóis subterrâneos muito profundos. Neste contexto, torna-se fundamental considerar a

disponibilidade da água e os problemas quanto à sua quantidade (escassez, estiagens e cheias) e qualidade (contaminação dos recursos hídricos).

Por esse motivo, preocupações atuais existem quanto à preservação desse importante recurso, sobretudo neste início de século quando as atividades humanas têm contribuído significativamente para a degradação da sua qualidade, tornando impróprio seu uso para as mais diversas finalidades. Por isso, tem-se procurado integrar a administração da água com a de outros recursos naturais e as atividades antrópicas, procedendo-se o manejo integrado de bacias hidrográficas, considerados como a integração de todos os fatores (biológicos, físicos, culturais e sócio-econômicos) envolvidos na complexa relação entre os componentes naturais e antrópicos (Drew, 1986).

Conceitualmente, a bacia hidrográfica pode ser definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto, em que cada um dos elementos, matérias e energia presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados e relacionados entre si (Christofolletti, 1981). Sendo assim, esta se apresenta como uma unidade natural básica para o desenvolvimento de estudos que almejam compreender e analisar a dinâmica de seus componentes. Infelizmente, estudos relativos às relações hidroquímicas de bacias hidrográficas que envolvam os aspectos do meio físico são muitos limitados no Brasil, focando os mesmos quase que exclusivamente ao Estado de São Paulo (Mortatti et al., 2003; Conceição e Bonotto, 2002, 2003, 2004; Mortatti et al., 2008; Sardinha et al., 2010; Conceição et al., 2010; Santos et al., 2012;

Moruzzi et al., 2012; Sardinha et al., 2012; Spatti Junior et al., 2014).

Na cidade de Rio Claro, interior do estado de São Paulo, localiza-se a bacia do Córrego Ibitinga, importante curso de água que escoia pela Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA) e em sua Zona de Amortecimento. A FEENA consiste em uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, cuja biodiversidade vegetal é composta por diversas espécies do gênero *Eucalyptus sp* com sub-bosques avançados do bioma Mata Atlântica e Cerrado. Essa variabilidade das espécies do *Eucalyptus sp* tornou a FEENA o berço da eucaliptocultura no Brasil. A FEENA possui um Plano de Manejo, o qual é definido segundo o Artigo 2º, inciso XVII da Lei do Sistema Nacional das Unidades de Conservação, como um documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade.

Porém, não há trabalhos que avaliem a qualidade de água do Córrego Ibitinga. Diante deste fato, o presente trabalho visa avaliar a qualidade das águas fluviais da bacia do Córrego Ibitinga através de parâmetros físico-químicos e químicos, possibilitando um diagnóstico ambiental relativo aos recursos hídricos localizados nesta bacia hidrográfica, indicando prováveis impactos ambientais ocasionados por ações antrópicas, fornecendo importantes subsídios para um desenvolvimento sustentável da Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade”.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se parte inserida na Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA) e em sua Zona de Amortecimento, município de Rio Claro, Estado de São Paulo (Figura 1), abrangendo a bacia do Córrego Ibitinga, afluente do Ribeirão Claro, pertencente à Bacia do Rio Corumbataí, a qual se enquadra dentro da Unidade de

Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiá (UGRHI - 05). A Floresta Estadual representa uma Unidade de Conservação da categoria de Uso Sustentável gerenciada pela Fundação Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), possuindo uma área de 2.230,53 hectares.

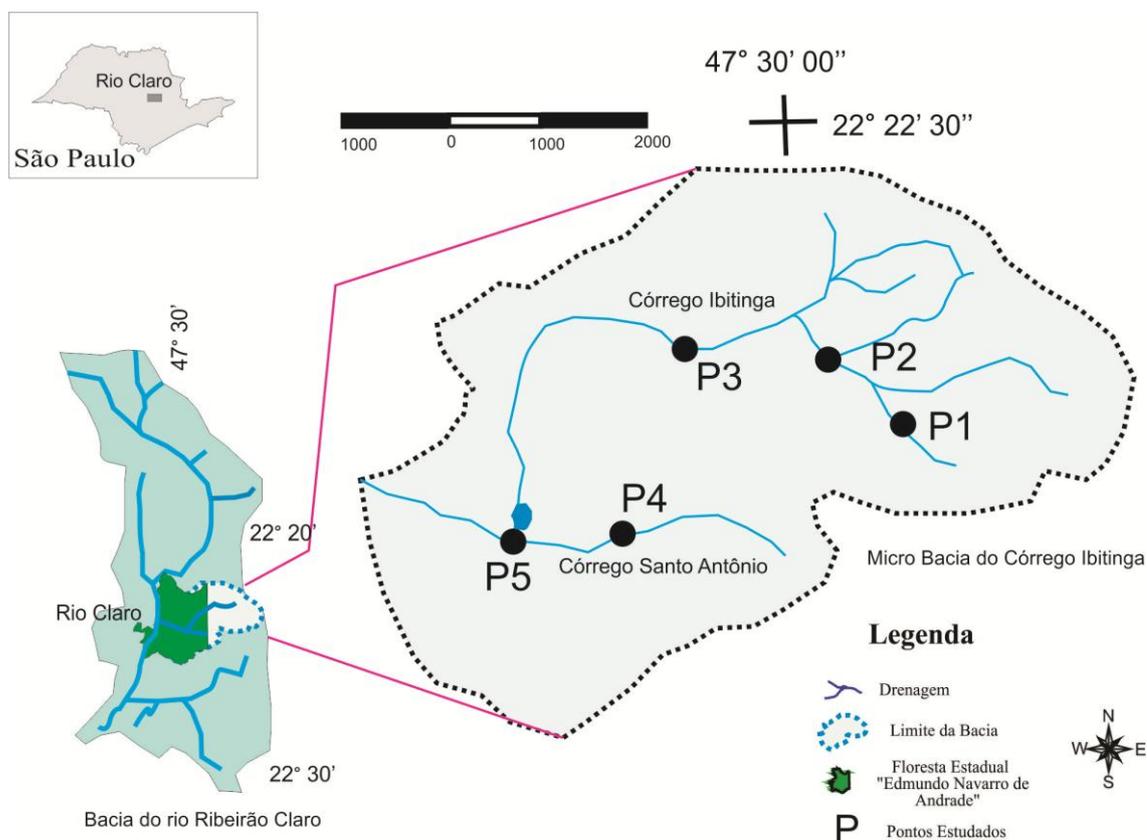


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Do ponto de vista geológico, a bacia do Córrego Ibitinga está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, que possui uma área de 1.700.000 km² (1.000.000 km² em território brasileiro), representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóicas (Formação Corumbataí), Mesozóicas (Formações Pirambóia e Serra Geral) e Cenozóicas (Formação Rio Claro e depósitos recentes) (Figura 2a). Na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade predominam as rochas intrusivas básicas, representadas por "sills de diabásios" que se encontram no setor E, NE e N desta floresta.

Em relação ao uso da terra (Figura 2b e 3), devido a presença da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, predominam antigos plantios de diversas espécies do gênero *Eucalyptus sp.*, na forma de talhões, com áreas de sub-bosques bem desenvolvidos (Machi & Cunha, 2007). No entorno desta área, a categoria predominante de uso da terra é a cultura de cana de açúcar, seguida de pastagens, vegetação rasteira e mata ciliar, com áreas correspondentes à 40, 10, 5 e 5% da bacia do Córrego Ibitinga (Figura 3).

A bacia do Córrego Ibitinga situa-se no domínio da Depressão Periférica Paulista,

descrita por (Penteado, 1976), como faixa erosiva deprimida entre escarpas mais avançadas da zona de cuestas, que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos, com desníveis da ordem de 200 a 300 m, e Planalto Cristalino. De acordo com Machi & Cunha (2007), o Córrego Ibitinga apresenta na sua margem esquerda declividades que variam entre 5 a 10% e 10 a 20%, predominando a classe de declividade entre 5% e 10%, sendo que apenas um pequeno trecho da média bacia deste córrego encontra-se com declividades entre 20% a 30%.

Em relação aos índices pluviométricos obtidos do Posto D4-012, denominado Horto Florestal de Rio Claro, com leituras iniciadas desde o ano de 1936 até o ano de 2003 pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (DAEE, 2012), a média anual de precipitação neste período foi de 1.317,39 mm (Figura 4a), sendo o maior índice registrado no ano de 1.983 com 2.186 mm e o menor em 1.939 com 739,5 mm. Já em relação às médias mensais registradas no entre os anos de 1936 a 2003 (Figura 4b), observa-se que os meses de janeiro e dezembro ocorrerem às maiores precipitações, com valores de 232,55 e 210,28 mm, respectivamente. Já os

menores valores ocorreram nos meses de julho e agosto, com 28,50 e 28,07 mm, respectivamente.

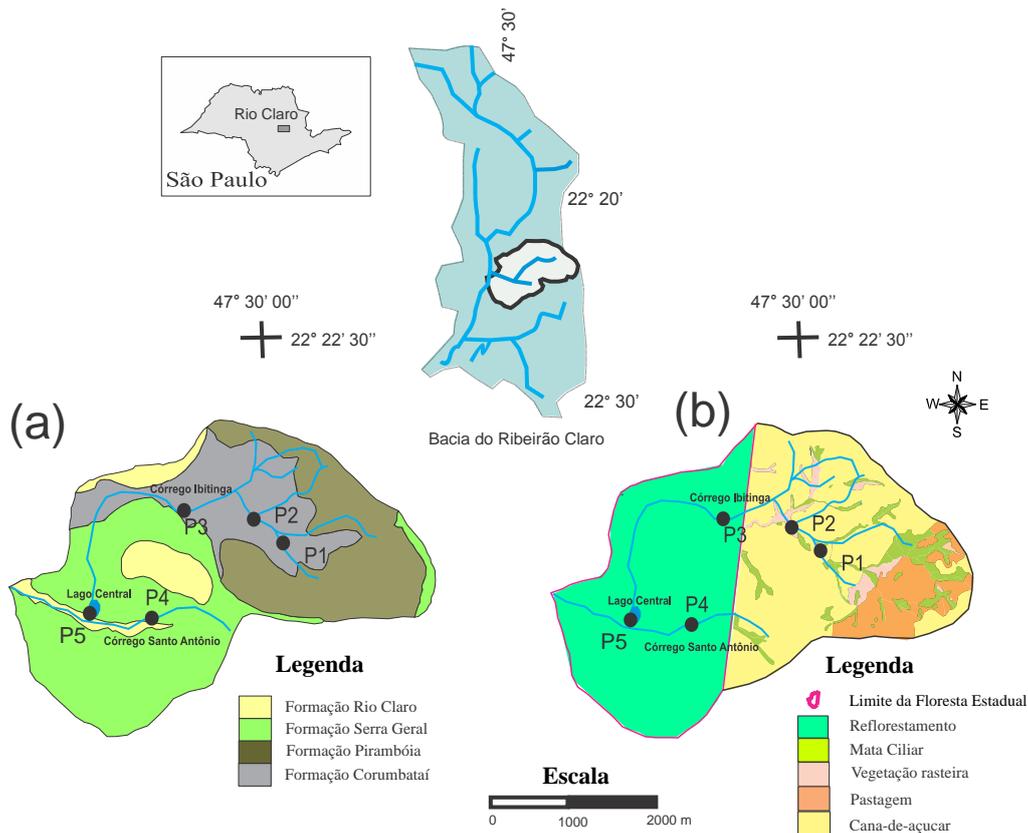


Figura 2. Mapa geológico (a) e de uso da terra (b) na bacia do Córrego Ibitinga, com localização dos pontos de amostragem de águas fluviais e da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade.

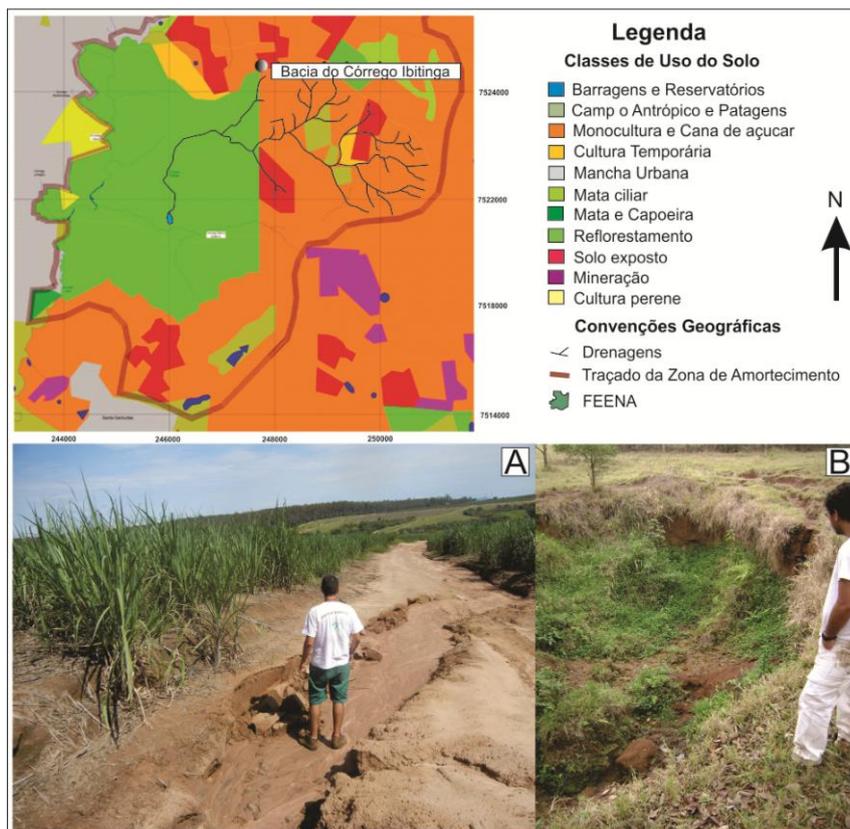


Figura 3. Mapa de uso da terra da bacia do Córrego Ibitinga, incluindo o traçado da Zona de Amortecimento. (a) detalhe da erosão de sedimentos arenosos e (b) nascente referente ao Ponto 1 sem presença de mata ciliar.

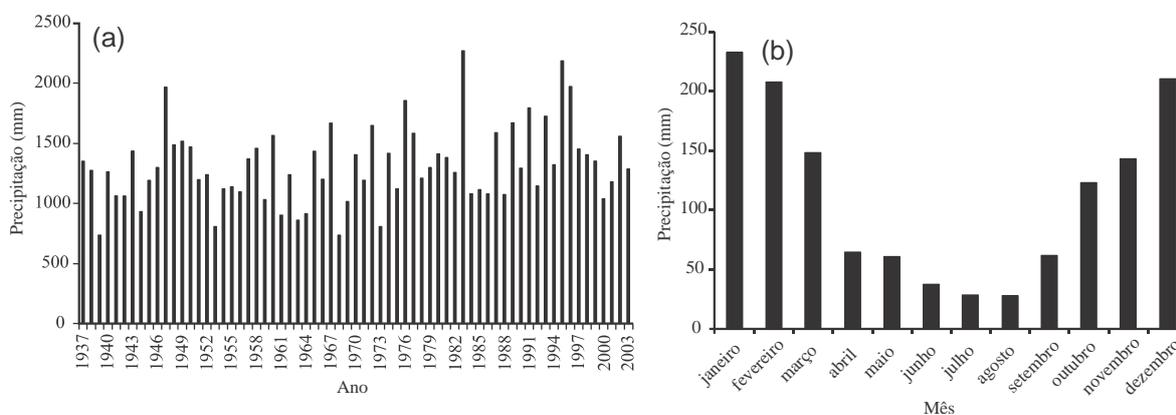


Figura 4. Média anual (a) e mensal (b) de precipitação entre os anos de 1936 a 2003 na bacia do Córrego Ibitinga.

MATERIAIS E TÉCNICAS

Com o auxílio das cartas geográficas previamente geradas e da análise exploratória de reconhecimento da bacia do Córrego Ibitinga estabeleceu-se os pontos de amostragem das águas fluviais (Figura 1). As coletas tiveram frequência mensal durante os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2010, sendo três pontos de amostragem localizados no interior da Floresta Estadual e dois situados a montante da mesma da floresta. O período de coleta foi estabelecido para avaliar a influência sazonal nas características das águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga. As técnicas de coleta e de preservação das amostras são muito importantes e seguiram os dispositivos de amostragem descritos em Agudo (1988).

As águas fluviais foram caracterizadas físico-quimicamente através de equipamento com eletrodos de leitura direta no próprio local de coleta, marca YSI modelo 556, previamente calibrado no LAGEA - Laboratório de Geoquímica Ambiental do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP de Rio Claro, sendo analisadas as seguintes variáveis: temperatura - Temp. (°C), pH, condutividade elétrica - Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido - OD (mg/L) e sólidos totais dissolvidos - STD (mg/L). As amostras de águas fluviais, após suas coletas, foram armazenadas em vasilhames de polietileno e levadas ao LAGEA para quantificação dos sólidos totais em suspensão - STS (método fotométrico de 1 a $750 \pm 0,5$ mg/L), através do espectrofotômetro DR 2800 da Hach Company. O eletrodo de pH é do tipo

combinado e os padrões de alta pureza utilizados para calibração foram de pH 4,00 ($4,00 \pm 0,01$ à $25^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$) e 7,00 ($7,00 \pm 0,01$ à $25^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$). O condutivímetro foi calibrado utilizando-se uma solução padrão de KCl (1,0 mmol/L) de condutividade conhecida, ou seja, $147 \mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C .

Amostras de águas fluviais foram filtradas *in situ* com a utilização de filtro Millipore de 45 μm acoplado a uma seringa descartável de 20 mL, divididas em dois frascos de polietileno e transportadas ao LAGEA, sendo uma das amostras preservada de com HNO_3 para se obter o teor dissolvido de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ . Os teores de SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , HCO_3^- , F^- e Cl^- foram quantificados nas amostras sem preservação com HNO_3 . Sódio (de 0,05 a $4,00 \pm 0,01$ mg/L), cloreto (de 0,10 a $50,00 \pm 0,03$ mg/L) e fluoreto (de 0,01 a $1,00 \pm 0,01$ mg/L) foram analisados pelo método potenciométrico com a utilização de eletrodos acoplados a um medidor de íons seletivo da Orion (modelo 710 A+). Os teores de cálcio e magnésio (método da calmagita colorimétrica, de 0,05 a $4,00 \pm 0,01$ mg/L), potássio (método do tetrafenilborato, de 0,10 a $7,00 \pm 0,04$ mg/L), sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário, de 2 a $70 \pm 0,9$ mg/L), fosfato (método do ácido ascórbico, de 0,02 a $2,5 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato (método de redução de cádmio, de 0,1 a $10 \pm 0,3$ mg/L) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 2800 da Hach Company (Hach, 1992). A alcalinidade foi obtida por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N, com concentração entre 1 e $500 \pm 0,2$ mg/L.

A vazão em todos os pontos de coleta foi quantificada segundo a metodologia descrita

por Hermes & Silva (2004), utilizando-se uma trena, um objeto flutuador e um cronômetro, sendo as variáveis colocadas posteriormente na Equação 1.

$$Q = \frac{A.D.C}{T} \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

A = área da seção transversal do rio (m²);
 D = distância usada para medir a velocidade do rio (m);

C = coeficiente de correção (0,9 para rios com fundo lodoso);

T = tempo (s) gasto pelo objeto flutuador para atravessar a distância D .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parâmetros físico-químicos

A Tabela 1 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos para as águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga.

Os valores indicam que as vazões medidas variaram entre os meses de amostragem, indicando que o regime pluviométrico, neste período de estudo, influencia no escoamento superficial da bacia do Córrego Ibitinga (Figura 5). Em dezembro, os valores ficaram acima dos demais meses, máximo de 5,0 m³/s para P3 e P5 (Figuras 1 e 2). Os valores no ponto P5, localizado no lago central da área de uso público da Floresta Estadual, propiciou um extravasamento do vertedor (Figuras 5a e 5b), como também em P3 (Figuras 5c e 5d).

Os maiores valores de condutividade elétrica foram obtidos no mês de setembro, máximo de 145,1 µS/cm em P5 (Tabela 1). Além disso, os valores aumentam ao longo do Córrego Ibitinga. Os valores máximos e mínimos de temperatura foram registrados em dezembro e agosto, respectivamente, assim como para a vazão. A amplitude térmica encontrada nas amostras está por volta de 8°C, caracterizando as diferentes estações do ano. Os valores de pH variaram de 6,0 (P3 dia 17 de agosto) a 8,4 (P3 dia 29 de dezembro), enquadrando-se na Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) para águas de Classe 2, a qual fixa o pH entre 6 e 9 como critérios de proteção à vida aquática. Valores fora da faixa recomendada podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes, bem como podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição, já que o pH também determina a mobilização de elementos químicos tóxicos, dificultando a descontaminação das águas. Os maiores obtidos

nos meses de chuva, igualmente ao observado para a temperatura.

Os valores de oxigênio dissolvido nos pontos P2, P3 e P4 estão acima do mínimo proposto pela Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) para águas de Classe 2, ou seja, 5 mg/L, durante todo o período de amostragem. O ponto P1 apresenta concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L. Os mais baixos valores de oxigênio dissolvidos foram quantificados para o ponto de amostragem P5, logo após a passagem do Córrego Ibitinga pelo lago localizado na região central da Floresta Estadual.

Em geral, a concentração de sólidos totais dissolvidos diminui nos meses mais chuvosos, fato associado ao efeito da diluição de água de chuva. Já os valores da concentração de sólidos totais em suspensão aumentam nos meses de chuva devido à erosão laminar dos solos, principalmente nas áreas a montante da Floresta Estadual. A Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) estabelece os limites para concentração de sólidos dissolvidos totais em 500 mg/L, nos quais se enquadraram todas as amostras de águas fluviais analisadas para a bacia do Córrego Ibitinga

Parâmetros químicos

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros químicos analisados nas águas fluviais da bacia do Córrego Ibitinga. A concentração média ponderada pela vazão de cátions e ânions foram obtidas pela Equação 2.

$$C_E = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2)$$

Onde:

C_E = média ponderada do parâmetro
(mg/L);
 C_i = concentração do parâmetro na i-
ésima amostra (mg/L);

Q_i = vazão no dia da coleta da i-ésima
amostra (m³/s).

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos para as águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga.
P1, P2, P3 e P5 = Córrego Ibitinga; P4 = Córrego Santo Antonio.

Ponto de amostragem	Vazão (m ³ /s)	Cond. (µS/cm)	Temp. (°C)	pH	OD (mg/L)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)
17 de agosto							
P1	<0,1	57,5	15,8	6,3	4,5	73	8
P2	0,1	61,5	15,5	6,1	5,6	82	9
P3	0,1	61,6	12,8	6,0	6,9	86	10
P4	0,1	66,6	12,0	6,4	5,8	65	8
P5	0,1	85,2	16,0	6,1	4,9	65	6
Média	0,1	66,5	14,4	6,2	5,5	74	8
17 de setembro							
P1	<0,1	104,3	19,8	6,3	3,6	68	16
P2	0,2	108,9	19,0	6,1	5,6	77	14
P3	0,3	118,6	19,5	6,1	6,5	79	21
P4	0,2	133,2	18,3	6,1	5,1	58	16
P5	0,3	145,1	21,2	6,2	4,4	62	10
Média	0,2	122,0	19,6	6,2	5,0	69	15
20 de outubro							
P1	<0,1	91,9	18,3	7,5	3,9	71	9
P2	0,2	97,5	19,3	7,1	5,5	81	10
P3	0,3	106,5	18,2	7,1	6,7	83	11
P4	0,2	106,8	16,7	7,2	5,7	66	7
P5	0,3	111,7	21,3	6,5	4,3	68	6
Média	0,2	102,9	18,8	7,1	5,2	74	9
24 de novembro							
P1	<0,1	79,6	21,9	8,0	4,2	49	12
P2	0,5	95,4	21,9	7,7	5,0	55	13
P3	0,5	102,1	21,9	7,6	6,1	64	18
P4	0,2	109,9	20,5	7,5	5,4	65	13
P5	0,5	122,6	22,8	6,3	4,4	68	10
Média	0,4	101,9	21,8	7,4	5,0	60	13
29 de dezembro							
P1	1,5	72,2	21,0	8,2	3,8	47	12
P2	4,0	73,9	22,1	8,2	5,6	64	23
P3	5,0	80,4	21,6	8,4	6,8	71	69
P4	2,0	82,8	21,4	8,2	5,8	59	54
P5	5,0	110,0	23,0	7,7	4,3	55	48
Média	3,5	83,9	21,8	8,1	5,3	59	41



Figura 5. Pontos de amostragem de águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga: vista a jusante (a) e a montante (b) do ponto P5 durante a coleta realizada em dezembro de 2010; ponto de amostragem P3 durante os meses de agosto (c) e dezembro (d) de 2010; lago localizado na região da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (e) e (f).

Há um aumento de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- e SO_4^{2-} ao longo do Córrego Ibitinga em todas as épocas de estudo. Porém, a concentração de todos estes elementos/compostos diminui em P5 (jusante da represa), causando uma diminuição da concentração de sólidos totais dissolvidos e sua provável retenção neste lago. Além disso, pode-se observar uma redução da concentração destes elementos/compostos no período chuvoso provavelmente devido à diluição causada pelas águas pluviais. Todas as concentrações de cloreto e fluoreto ficaram abaixo do limite de detecção.

Os resultados obtidos para os principais ânions dissolvidos sugerem que o Córrego Ibitinga enquadra-se na Classe 2 da Resolução CONAMA n° 357 (Brasil, 2005). Nenhuma

amostra apresentou concentração de nitrato acima do permitido pela Resolução n° 357. Porém, em termos de fosfato, as amostras coletadas no mês de dezembro para os pontos P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores maiores que o permitido para a Classe 2 (máximo de 0,15 mg/L), indicando que estes valores podem estar associados à lixiviação de fertilizantes fosfatados aplicados nas culturas de cana de açúcar, localizadas a montante da Floresta Estadual, como já sugerido por Conceição & Bonotto (2002, 2003 e 2004) para as águas fluviais da bacia do Rio Corumbataí.

As concentrações de nitrato e fosfato diminuem após o lago localizado na região central da Floresta Estadual (P5 - Figuras 1 e 2) assim como para os sólidos totais dissolvidos e os demais elementos/compostos. O acúmulo de

nutrientes pode favorecer a eutrofização desta represa (Figuras 5e e 5f). Os valores de oxigênio dissolvido também diminuem entre os pontos P3 e P5, confirmando o processo de

eutrofização desta represa, que, associado ao seu assoreamento, pode gerar problemas para este ambiente lótico.

Tabela 2. Parâmetros químicos (em mg/L) para as águas superficiais na bacia do Córrego Ibitinga. P1, P2, P3 e P5 = Córrego Ibitinga; P4 = Córrego Santo Antonio.

Ponto de amostragem	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
17 de agosto										
P1	6,9	0,9	5,9	2,8	55,0	<0,1	<0,1	0,11	1,0	0,4
P2	6,8	1,6	6,2	1,3	65,0	<0,1	<0,1	0,11	1,0	0,3
P3	7,0	2,3	8,2	1,9	65,0	<0,1	<0,1	0,11	2,0	0,4
P4	6,5	1,3	8,9	0,9	45,0	<0,1	<0,1	0,09	2,0	0,2
P5	4,2	1,0	4,3	0,6	55,0	<0,1	<0,1	0,08	1,0	0,2
C _E	6,3	1,4	6,7	1,5	57,0	---	---	0,10	1,4	0,4
17 de setembro										
P1	4,0	0,5	4,0	2,8	55,0	<0,1	<0,1	0,10	1,0	0,3
P2	4,1	0,8	4,5	1,3	65,0	<0,1	<0,1	0,12	1,0	0,5
P3	4,3	0,9	4,9	1,9	65,0	<0,1	<0,1	0,12	1,0	0,6
P4	3,7	0,7	4,1	0,9	45,0	<0,1	<0,1	0,09	2,0	0,2
P5	2,0	0,6	3,5	0,6	55,0	<0,1	<0,1	0,07	1,0	0,2
C _E	3,6	0,7	4,2	1,5	57,0	---	---	0,10	1,2	0,3
20 de outubro										
P1	3,5	0,5	3,7	2,1	60,0	<0,1	<0,1	0,12	1,0	0,5
P2	3,7	0,6	3,5	4,4	65,0	<0,1	<0,1	0,11	3,0	0,4
P3	3,9	0,8	3,8	4,9	65,0	<0,1	<0,1	0,12	4,0	0,5
P4	2,8	0,5	3,4	4,3	50,0	<0,1	<0,1	0,09	4,0	0,3
P5	1,5	0,4	2,7	3,6	60,0	<0,1	<0,1	0,07	1,0	0,2
C _E	3,1	0,6	3,4	3,9	60,0	---	---	0,10	2,6	0,4
24 de novembro										
P1	1,3	0,5	3,6	2,1	40,0	<0,1	<0,1	0,14	1,0	0,5
P2	1,4	0,7	3,5	3,1	45,0	<0,1	<0,1	0,14	1,0	0,3
P3	2,1	0,8	3,9	3,2	50,0	<0,1	<0,1	0,14	3,0	0,4
P4	2,8	0,5	3,1	2,8	50,0	<0,1	<0,1	0,11	4,0	0,4
P5	1,5	0,6	2,5	2,5	60,0	<0,1	<0,1	0,07	2,0	0,2
C _E	1,8	0,7	3,3	2,9	50,8	---	---	0,12	2,2	0,3
29 de dezembro										
P1	0,1	0,5	2,0	2,2	40,0	<0,1	<0,1	0,17	1,0	0,7
P2	0,1	0,7	2,3	3,1	55,0	<0,1	<0,1	0,18	2,0	0,7
P3	0,2	0,8	2,5	3,5	60,0	<0,1	<0,1	0,19	3,0	0,8
P4	0,1	0,7	2,1	2,4	50,0	<0,1	<0,1	0,14	2,0	0,7
P5	0,1	0,6	1,5	2,0	50,0	<0,1	<0,1	0,08	1,0	0,4
C _E	0,1	0,7	2,1	2,7	53,1	---	---	0,15	1,9	0,6

C_E = concentração média ponderada do parâmetro pela vazão.

Classificação das águas fluviais da bacia do córrego Ibitinga

A dureza da água é função da quantidade de sais de cálcio e magnésio dissolvidos nas águas, sendo a classificação das águas em relação à sua dureza apresentada na Tabela 3 (Sawyer et al., 2000). Águas moles podem ser relatadas como águas com baixa concentração de cátions e vários estudos por todo o mundo (Estados Unidos, Escócia, Suécia e Japão) concluem que comunidades com águas relativamente mais duras têm menor taxa de doenças no coração que comunidades com águas moles (Keller, 2000). Todas as amostras de água da bacia do Córrego Ibitinga são classificadas como mole, ou seja, com

concentração de CaCO_3 variando entre 2 a 26 mg/L. Além disso, utilizando-se os principais cátions e ânions discutidos neste estudo ainda é possível classificar quimicamente as águas fluviais da bacia do Córrego Ibitinga. Para isso, utilizou-se um método gráfico proposto por (Piper, 1944) e usado frequentemente na hidrogeologia (Conceição & Bonotto 2002). Em relação aos cátions dissolvidos, os pontos analisados possuem suas águas classificadas como mistas para os meses de agosto e setembro e sódicas-potássicas para outubro, novembro e dezembro, e em relação aos ânions dissolvidos, todas as águas foram classificadas como alcalinas bicarbonatadas (Figura 6).

Tabela 3. Classificação de dureza das águas (Sawyer et al., 2000).

Dureza (mg/L de CaCO_3)	Classificação das águas
0-75	Mole
76-150	Moderadamente dura
151-300	Dura
>301	Muito dura

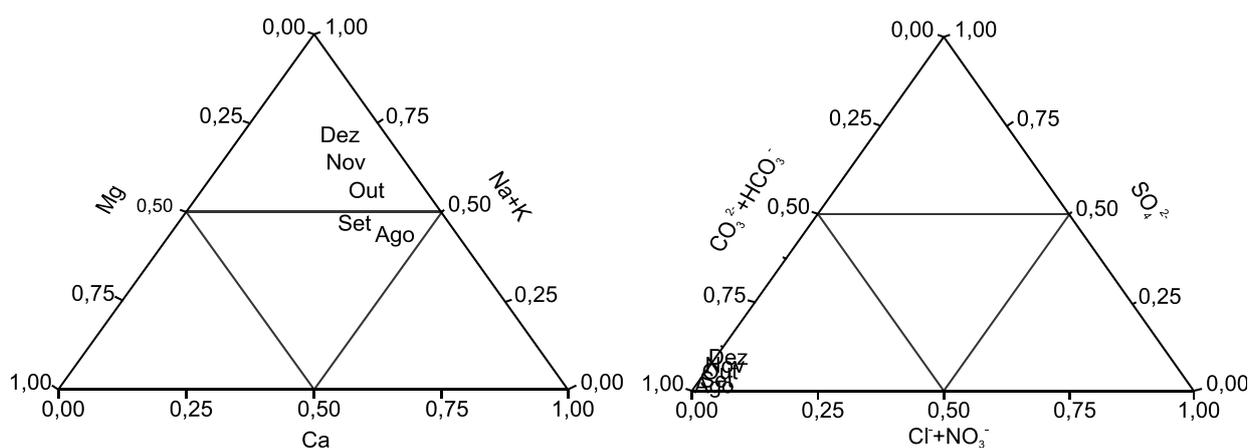


Figura 6. Classificação das águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga segundo o diagrama de Piper (1944).

Outra classificação química das águas fluviais foi sugerida por Gibbs (1970) com base nos valores dos sólidos totais dissolvidos e na relação $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$, sendo representados em diagrama tipo bumerangue. A Figura 7 ilustra a classificação das águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga, usando os valores médios ponderados dos íons pela vazão. As águas fluviais do ponto de amostragem P1 da bacia do Córrego Ibitinga são empobrecidas em Na^+ e enriquecidas em Ca^{2+} em relação às

águas pluviais em áreas costeiras, devido a sua distância em relação ao Oceano Atlântico, justificando seu deslocamento à esquerda no diagrama de Gibbs. Os pontos P2, P3 e P4 localizam-se na região central do diagrama de Gibbs devido ao aumento dos sólidos totais dissolvido. Já o ponto P5 volta ao domínio da precipitação por causa da diminuição dos sólidos totais dissolvidos, os quais ficam retidos na represa.

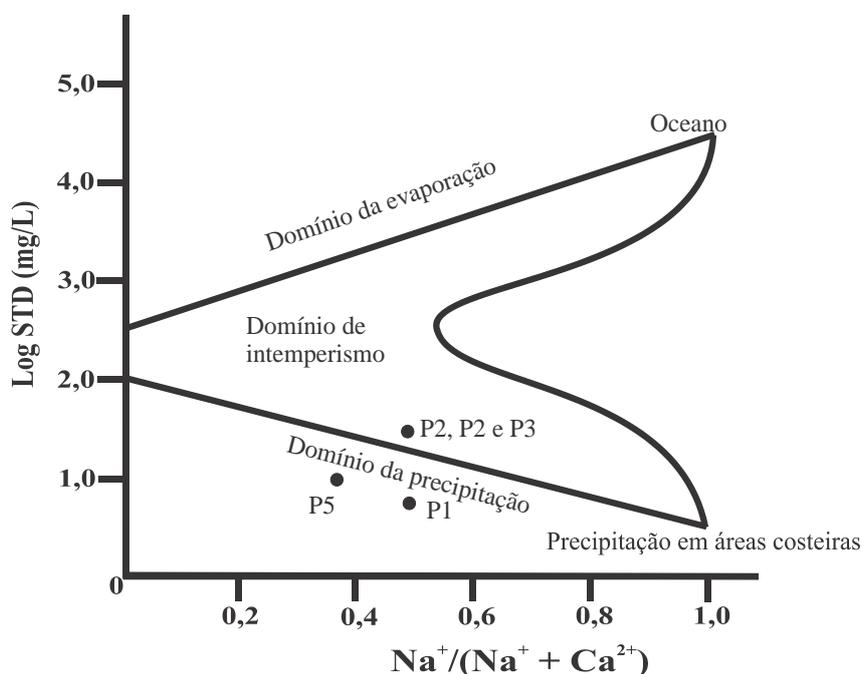


Figura 7. Classificação das águas fluviais na bacia do Córrego Ibitinga de acordo com o diagrama de Gibbs (1970).

Fluxo anual de material dissolvido e em suspensão

Garrels & MacKenzie (1967) modelaram a abundância e proporção relativa de íons dissolvidos em águas superficiais usando um balanço de massa. Lerman (1988) resumiu a dinâmica química de um rio através da Equação 3.

$$W_q = (STD) \cdot Q_{anual} \quad (3)$$

Onde:

W_q = fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico (g/ano ou t/ano);

$[STD]$ = concentração média de sólidos totais dissolvidos (g/L);

Q_{anual} = vazão anual (L/ano);

O transporte de materiais sólidos pode obtido através da técnica simplificada de (Colby, 1957), equações 4, 5 e 6. De acordo com Scapin (2005), esta técnica é vantajosa para a aplicação em pequenas bacias hidrográficas, permitindo avaliar a carga de arraste, sendo este dado fundamental para o trabalho em bacias hidrográficas com predominância de material arenoso. O cálculo do material transportado por arraste no canal foi realizado com o auxílio do Software Win TSR® (Paiva et al., 2002).

$$Q_t = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (4)$$

Com:

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q_{anual} \cdot [STS] \quad (5)$$

$$Q_{nm} = q_{nm} \cdot K \cdot L \quad (6)$$

Onde:

Q_t = transporte de material sólido anual (t/ano);

Q_{sm} = transporte de material sólido anual em suspensão (t/ano);

Q_{nm} = transporte de material sólido anual por arraste (t/ano);

Q_{anual} = vazão anual (m³/ano);

$[STS]$ = concentração média de sólidos totais em suspensão (mg/L);

q_{nm} = transporte de material por arraste não medido (t/m/ano);

L = largura média do rio (m);

K = fator de correção.

Para estimar a possível influencia represa na retenção de sólidos totais dissolvidos e em suspensão (t/ano), é necessário conhecer a concentração média ponderada destes parâmetros e a vazão média nos pontos de amostragem P3 e P5, localizados a montante e jusante da repesa, respectivamente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Vazão média anual (Q), concentração média de sólidos totais dissolvidos (TDS) e em suspensão (TSS) e transporte anual de sólidos totais dissolvidos (TTDS) e em suspensão (TTSS) nos pontos de amostragem P3 e P5 na bacia do Córrego Ibitinga.

Ponto de amostragem	Q (m ³ /s)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	TTDS (t/ano)	TTSS (t/ano)
P3	1,3	77	26	3157	1066
P5	1,3	64	16	2624	656
Diferença	---	12	10	533	410

O transporte anual de sólidos dissolvidos devido ao intemperismo das rochas da bacia do Córrego Ibitinga é de 2624 toneladas. Já os processos erosivos são responsáveis pela retirada de 656 toneladas de solo anualmente. Além disso, os resultados indicam retenção anual de 533 e 410 toneladas de sólidos totais dissolvidos e em suspensão, respectivamente, confirmando os processos de assoreamento e eutrofização da represa (Figuras 5e e 5f). Este valor pode estar associado ao uso da terra por atividades agrícolas, as quais aceleram o processo de erosão laminar, como indicado pelos estudos de (Machi & Cunha, 2007) e (Pinheiro, 2012).

De acordo com Pinto (2002), a densidade de sedimentos saturados com água é de 2 t/m³. Utilizando-se este valor e a quantidade de material retido por ano na represa, pode-se obter um volume anual de 205 m³. Sabendo-se a área a represa (53.000 m²), a taxa de sedimentação pode ser de aproximadamente 4 mm/ano. Segundo a administração da Floresta Estadual, há aproximadamente 2,5 m de espessura de sedimentos na represa. Esta represa é resultante do represamento do Córrego Ibitinga em 1950 para abastecer a Estação de Tratamento de Água localizada em sua adjacência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas da bacia do Córrego Ibitinga e seu afluente são enquadrados na Classe 2 e ao longo de seu curso as características deveriam ser compatíveis com a classe de seu enquadramento. Porém, os parâmetros físico-químicos e químicos analisados indicaram que isto nem sempre acontece. De acordo com os resultados obtidos estima-se que o transporte anual de sólidos dissolvidos devido ao intemperismo das rochas da bacia do Córrego Ibitinga é de 2624 toneladas. Já os processos erosivos são responsáveis pela retirada de 656 toneladas de solo anualmente. Além disso, os resultados indicam retenção anual de 533 e 410 toneladas de sólidos totais dissolvidos e em suspensão, respectivamente. O período de intensa precipitação pluviométrica que ocorre nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro é responsável pela maioria do carreamento de materiais particulados para as drenagens da bacia do Ibitinga. Observa-se um acúmulo de sólidos na represa está relacionado à ausência de matas ciliares nas drenagens da bacia, as quais foram suprimidas pela introdução da cultura cafeeira e, posteriormente, pela cana de açúcar

e manejo inadequado do solo por muitos anos. Assim, torna-se necessário uma política que englobe como principal prioridade o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos e que deve ser exercida, com ações para minimização dos impactos ambientais, tais como: manejo adequado do solo, com o intuito de diminuição dos processos erosivos gerados pelas atividades agrícolas; realização de um monitoramento da qualidade das águas fluviais; intensificação da fiscalização das nascentes e áreas de preservação permanente; recuperação das áreas degradadas; programas de educação ambiental com a conscientização dos proprietários rurais e da população da cidade de Rio Claro sobre a importância da Floresta Estadual e, conseqüentemente, da bacia do Córrego Ibitinga. Além disso, a atual parceira entre a FEENA e o Poder Público Municipal poderia redigir um plano de gestão para a Zona de Amortecimento, com o intuito de resguardar a biodiversidade desta Floresta Estadual e possibilitar que futuros licenciamentos possam ocorrer de forma ordenada e harmoniosa, assegurando assim, a manutenção da qualidade

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao graduando em Geografia Vinícius Veloso pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratoriais e a Fundação Florestal do Estado de São Paulo pela colaboração nos trabalhos. Além disso, os autores gostariam de agradecer ao revisor anônimo pelas importantes contribuições, as quais melhoram a qualidade final do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUDO, E. G. **Guia técnico de coleta e preservação de amostras de água**. CETESB. São Paulo, 1988.
2. BONOTTO, D. M.; ALMEIDA, K. Y. M.; SIEBER, S. S. **Sedimentation rates in the Corumbataí River basin, Brazil, derived from Pb-210 measurements**. In: Des E. Walling; Arthur J. Horowitz. (Org.). *Sediment Budgets*. 1 ed. Wallingford: IAHS Press, v. 1, p. 294-302, 2005.
3. BRASIL. 2005. - CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**, IBAMA.
4. BRASIL. 2000. Lei 9.985/00 que institui o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza. 2000
5. COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. *Transactions, American Geophysical Union*. V. 38, n.5, p.708-719, 1957.
6. CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas a avaliação da qualidade de água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). *Geochimica Brasiliensis*, 16 (1):1-21, 2002.
7. CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Use of U-isotopes disequilibrium to evaluate the weathering rate and fertilizer-derived uranium at São Paulo State. *Environmental Geology*, 44 (4):408-418, 2003.
8. CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry*, 19(4):575-591, 2004.
9. CONCEIÇÃO, F. T., SARDINHA, D. S., SOUZA, A. D. G., NAVARRO, G. R. B. 2010. Anthropogenic influences on annual flux of cations and anions at Meio Stream basin, São Paulo State, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution*, 205:79 - 91.
10. CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1981.
11. DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica. 2012. [On line]. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br>
12. DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. São Paulo: DIFEL, 1986.
13. GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T. Origin of the chemical composition of some springs and lakes. In: *Equilibrium concepts in natural waters systems*. **American Chemical Society, Advances in Chemistry Series**, p. 67, 1967.
14. GIBBS R.J. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, v.170, pp. 1088-1090, 1970.
15. HACH (1992) **Water Analysis Handbook**. 2nd Edition. Hach Company, Loveland, Colorado, USA.
16. HERMES, L.C.; SILVA, A. DE S. (2004) **Avaliação da qualidade das águas: manual prático**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 55p.
17. IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. 1981. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Monografias, São Paulo.
18. KELLER, E.A. **Environmental Geology**. 8thed./New Jersey/Prentice-Hall, 564p.
19. LERMAN, A.; WU, L.; MACKENZIE, F.T. CO₂ and H₂SO₄ consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in global carbon balance. *Marine Chemistry*, v.106, p. 326-350. 2007.
20. MACHI, D.A.; CUNHA, C.M.L. 2007. Caracterização dos Elementos Físicos da Bacia do Córrego Santo Antônio (Rio Claro/SP). *Sociedade & Natureza*, 19(2): 139-151, 2000.
21. MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; BORTOLETTO JÚNIOR, M. J. 2003. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. *Geociências*, São Paulo, 22 (1):. 75-81.
22. MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; FERNANDES, A. M.; MORTATTI, B. C.; OLIVEIRA, H. 2008. Influence of discharge on silicate weathering of the Tiete river basin: major cations and silica approach. *Geochimica Brasiliensis*, 22:15-26.
23. MORUZZI, R. B., CONCEIÇÃO, F. T., SARDINHA, D. S., NAVARRO, G. R. B. 2012. Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no Córrego da Água Branca, Itirapina (SP). *Geociências*, 31:447 - 458.
24. PAIVA, J.B.D; BELING, F.A.; ROSA, L.H. WinTSR – **Calculo do transporte de sedimentos em rios**. HDS-CT-UFSM. 2002. (software não publicado).
25. PENTEADO, M. M. 1976. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista. Série teses e monografias**. São Paulo, n. 22 Instituto de Geografia, USP, São Paulo.
26. PINHEIRO, L.S. **A dinâmica erosiva na Bacia do Córrego Ibitinga-Rio Claro-SP: Uma Abordagem Empírica – Dedutiva**. Rio Claro, 2012. 138p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas Universidade Estadual Paulista.
27. PINTO, C. S. 2002. **Curso básico de mecânica de solos**. 2^oed, Oficina de Texto, 355p.
28. PIPER, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Trans. Amer./Geophysical Union*, 25:914-928.
29. SANTOS, C. M., CONCEIÇÃO, F. T., SOUZA, A. D. G., LIMA, V. B., NAVARRO, G. R. B. 2012. Avaliação do transporte específico natural e influências antropogênicas na bacia do Ribeirão Preto (SP). *Geochimica Brasiliensis*, 26:29 - 37.
30. SARDINHA, D. S., BONOTTO, D. M., GODOY, L. H., CONCEIÇÃO, F. T., MORENO, M. M. T. 2012. Denudação química e implicações na composição química das águas superficiais da bacia do Rio Jaú (SP). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13:337 - 349.
31. SARDINHA, D. S., BONOTTO, D. M., CONCEIÇÃO, F. T. 2010. Weathering rates at Sorocaba River basin, Brazil, using U-isotopes and major cations.. *Environmental Earth Sciences*, 61:1025 - 1036.
32. SAWYER, C.N.; MCCARTY, P.L.; PARKIN, G. F. 2000. **Chemistry for sanitary engineers**. 4^o ed/New York/McGraw-Hill, 634p.

33. SCAPIN, J.; PAIVA, J.B.D.; BELING, F. A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p 05-21, 2007.
34. SPATTI JUNIOR, E. P., CONCEIÇÃO, F. T., GUEDES JUNIOR, E., PINTO, S. A. F., PEREIRA, L. H. 2014. Balanço entre intemperismo químico e remoção do solo na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP),

determinado por geoquímica fluvial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 15:137 - 1512.

Manuscrito recebido em: 16 de Abril de 2014
Revisado e Aceito em: 20 de Fevereiro de 2015