



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 3 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i3.1006>



GEOQUÍMICA FLUVIAL APLICADA À AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE INTEMPERISMO QUÍMICO E REMOÇÃO DE SOLO DA FORMAÇÃO RIO CLARO

FLUVIAL GEOCHEMISTRY APPLIED TO THE EVALUATION OF CHEMICAL WEATHERING RATES AND SOIL REMOVAL IN RIO CLARO FORMATION

Antonio Aparecido Couto Júnior

*Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP, CEP: 13506-900, Brasil
Email: acjunior_2003@hotmail.com*

Fabiano Tomazini da Conceição

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP, CEP: 13506-900, Brasil
Email: ftomazini@rc.unesp.br*

Alexandre Martins Fernandes

*Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista
Av. Engº Luiz Edmundo Carrijo Coube, nº 14-01, CEP: 17033-360, Brasil
Email: alefernandes1966@yahoo.com.br*

Cenira Maria Lupinacci

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP, CEP: 13506-900, Brasil
Email: cenira@rc.unesp.br*

Eder Paulo Spatti Júnior

*Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro-SP, CEP: 13506-900, Brasil
Email: ederspatti@hotmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
02/02/2016
Aceito (Accepted):
11/05/2016

Palavras-chave:

Balanco de Denudação,
Rochas Sedimentares, Minerais
Silicáticos.

Resumo:

O objetivo deste trabalho foi determinar, pela geoquímica fluvial, as taxas de intemperismo químico e remoção do solo na Formação Rio Claro, usando como área de estudo a bacia do Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP). No exutório desta bacia hidrográfica foram analisados os seguintes parâmetros: vazão, sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais em suspensão (STS), temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Os resultados revelaram um fluxo anual de cátions e ânions de 114.3 t a⁻¹ e uma taxa de intemperismo dos minerais silicáticos da Formação Rio Claro de 0.7 m Ma⁻¹, indicando uma baixa taxa

Keywords:

Balance of Denudation,
Sedimentary Rocks, Silicate
Minerals.

de intemperismo químico destas rochas em relação a outros tipos de rochas (carbonatos, basaltos, granitos, xistos, gnaisses e alcalinas). No que tange a remoção de solos, obteve-se o valor de 169.8 t a⁻¹, com uma taxa de 9.6 m Ma⁻¹, sendo tais valores coerentes com os resultados obtidos em estudos realizados na região sudeste do Brasil. Deste modo, nas condições climáticas atuais ocorre o

predomínio de remoção de solo em relação à sua formação, ou seja, há balanço positivo de denudação.

Abstract:

This study aimed to determine through fluvial geochemistry chemical weathering rates and soil removal of Rio Claro formation in Cachoeirinha stream basin, Rio Claro (SP). In the river mouth the discharge, total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), temperature, pH, electrical conductivity and dissolved oxygen were analyzed. The results showed an annual cations and anions flow of 114.3 t a⁻¹ and weathering rates of 0.7 m Ma⁻¹ of minerals from Rio Claro formation. These results indicate a low rate of chemical weathering of rocks relative to other rock types (alkaline rocks, carbonates, basalts, granites, schists and gneisses). About the soil removal it was obtained the value of 169.8 t a⁻¹ with a rate of 9.6 m Ma⁻¹ and these values are consistent with the results of studies conducted in southeastern Brazil. Thus, in the current climate there is a predominant soil removal in relation to their training or a positive balance of denudation.

1. Introdução

A determinação do balanço de denudação, o qual consiste na atuação conjunta do componente perpendicular, caracterizado pelo aumento do fronte de intemperismo das rochas, e do componente paralelo, caracterizado pela remoção do material superficial, é de grande interesse na evolução geológica e geomorfológica dos continentes. De acordo com Tardy (1986), o intemperismo químico precede a erosão, levando a perda de elementos através da lixiviação e concentração de elementos menos solúveis no perfil de intemperismo. Este processo é o principal mecanismo de remoção de CO₂ atmosférico, e, conseqüente, deposição de carbonatos de Ca²⁺ e Mg²⁺ (e menores quantidades de Fe²⁺ e Mn²⁺) nos oceanos, tendo como função básica a moderação do clima terrestre (MORTATTI e PROSBT, 2003; GAILLARDET *et al.*, 1997, 1999, 2003; ROY *et al.*, 1999; MILLOT *et al.*, 2002; DUPRÉ *et al.*, 2003; DESSERT *et al.*, 2003; VIERS *et al.*, 2007). A erosão age principalmente na superfície, nivelando o relevo continental e transportando a matéria em suspensão através dos rios para os oceanos.

Avaliações das taxas de intemperismo químico e remoção de solos vêm sendo realizada em diferentes bacias hidrográficas por todo o mundo, as quais possuem diferentes tipos de litologia, clima, relevo, vegetação e uso da terra (GIBBS, 1967; JONHSON *et al.*, 1968; TARDY, 1968, 1969, 1971; STALARD e EDMOND, 1981, 1983, 1987; PROSBT, 1986; KATTAN *et al.*,

1987; NKOUNKOU e PROSBT, 1987; AMIOTTE-SUCHET e PROBST, 1993; PROBST *et al.*, 1994; WHITE e BLUM, 1995; CLOW e DREVER, 1996; BOEGLIN *et al.*, 1997; GAILLARDET *et al.*, 1997, 1999; LOUVAT, 1997; LOUVAT e ALLÈGRE, 1997, 1998; BOEGLIN e PROSBT, 1998; PERAY, 1998; LAND *et al.*, 1999; GRASBY e HUTCHEON, 2000; SEMHI *et al.*, 2000; BAIN *et al.*, 2001; DESSERT *et al.*, 2001; MILLOT *et al.*, 2002; PACHECO e VAN DER WEIJDEN, 2002; DUPRÉ *et al.*, 2003; DESSERT *et al.*, 2003; OLIVA *et al.*, 2003; WEIJDEN e PACHECO, 2006; ZAKHAROVA *et al.*, 2007; LI e ZHANG, 2008; LOUVAT *et al.*, 2008; GAO *et al.*, 2009; XU e LIU, 2010; GURUMURTHY *et al.*, 2012; EDET *et al.*, 2013; LARAQUE *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2014). Contudo, no Brasil poucos estudos são relacionados às taxas atuais de intemperismo químico e remoção de solos em bacias hidrográficas com rochas silicáticas (MOREIRA-NORDEMANN, 1980, 1984; STALLARD e EDMOND, 1983; MORTATTI e PROBST, 2003; CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2003, 2004; BONOTTO *et al.*, 2007; SARDINHA *et al.*, 2010; SPATTI JUNIOR *et al.*, 2014; CONCEIÇÃO *et al.*, 2015; HORBE *et al.*, 2016).

Crátons Pré-Cambrianos, Cinturões Orogênicos e Bacias Sedimentares são as principais unidades geodinâmicas no território brasileiro. A Bacia Sedimentar do Paraná possui um formato alongado na direção NNE-SSW (1750 km de comprimento, com uma largura média de 900 km) e ocupa a parte meridional do Brasil,

a metade oriental do Paraguai, a região mesopotâmica da Argentina e a metade ocidental do Uruguai, cobrindo cerca de 1.700.000 km² (FRANÇA e POTTER, 1988), com aproximadamente 1.200.000 km² localizando-se em território brasileiro (Fig. 1a). Esta bacia desenvolveu-se, em sua totalidade, sobre crosta continental, compreendendo uma bacia intracratônica simétrica preenchida com quase 5.000.000 m³ de sedimentos basicamente siliciclásticos e rochas vulcânicas. Infelizmente, até agora poucos estudos têm sido conduzidos para avaliar as taxas de intemperismo químico e remoção de solos associadas às rochas sedimentares (CONCEIÇÃO *et al.*, 2003; 2004) e magmáticas (CONCEIÇÃO *et al.* 2015) da Bacia Sedimentar do Paraná.

Para a realização de um estudo que atinja este objetivo, podem-se utilizar grandes bacias hidrográficas, as quais não são passíveis de distinção da contribuição de diferentes fontes litológicas (SUMMERFIELD e HULTON, 1994; LOUVAT e ALLÈGRE, 1997;

GAILLARDET *et al.*, 1999; MORTATTI e PROBST, 2003; LERMAN *et al.*, 2007). Um segundo tipo de estudo associa-se a pequenas bacias hidrográficas monolitológicas, permitindo separar as influências litológicas de outros fatores ambientais (MILLOT *et al.*, 2002). Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as taxas de intemperismo químico e a remoção de solos associados às rochas da Formação Rio Claro pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná em uma pequena bacia hidrográfica denominada de bacia do Ribeirão Cachoeirinha, localizada no município de Rio Claro. A referida bacia hidrográfica não é afetada por esgotos domésticos ou industriais, sendo somente necessária a correção das influências atmosféricas no fluxo anual de sólidos totais dissolvidos transportados anualmente pelo Ribeirão Cachoeirinha. Além disso, os resultados possibilitaram discutir se há variação sazonal nos fluxos mensais de sólidos totais dissolvidos e em suspensão na bacia hidrográfica estudada.

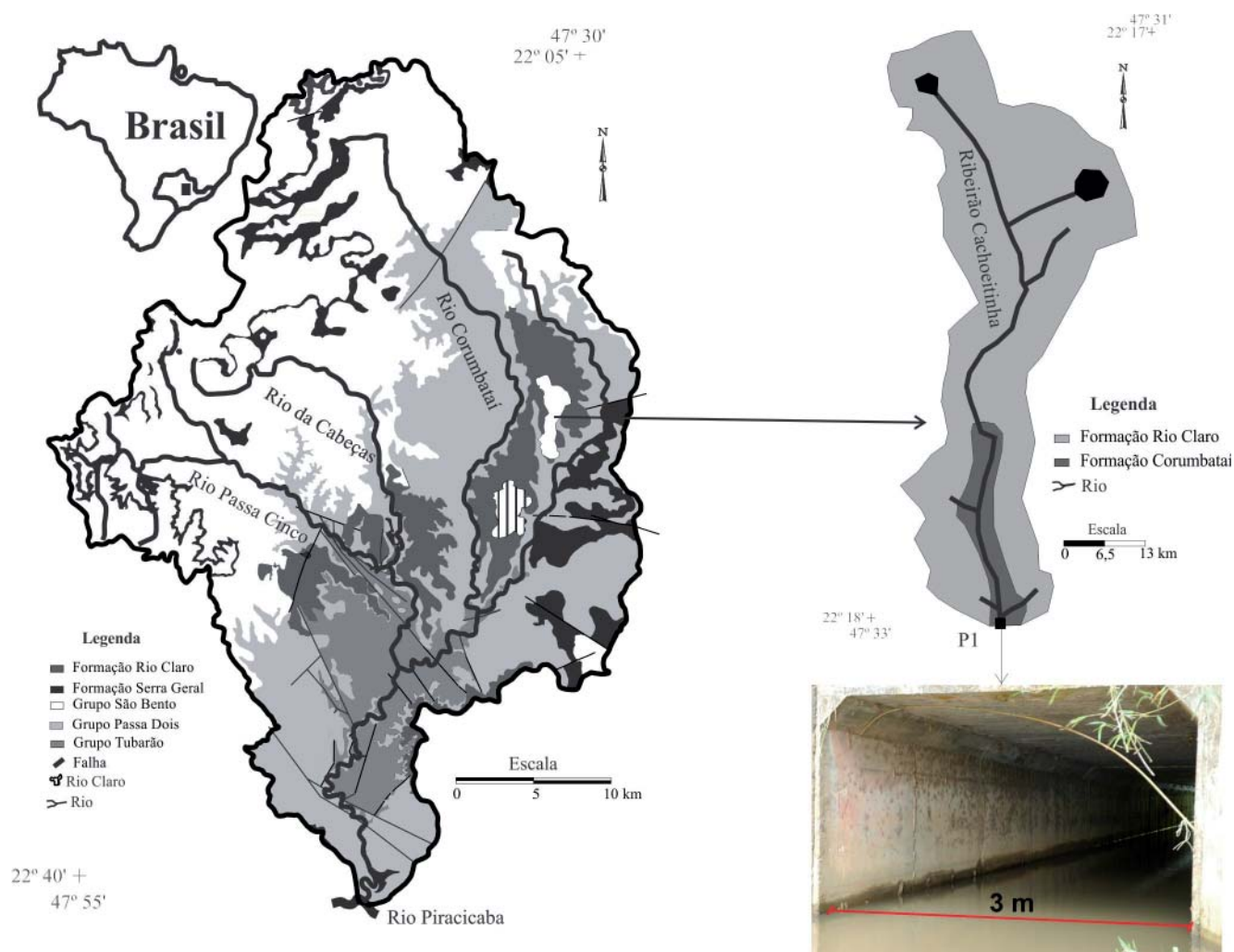


Figura 1 – Mapa Geológico da bacia do Rio Corumbataí, com destaque para o Ribeirão Cachoeirinha.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

O Ribeirão Cachoeirinha constitui-se em um afluente pela margem direita do Ribeirão Claro, o qual é afluente do Rio Corumbataí, localizado no município de Rio Claro (SP). Esta bacia hidrográfica está situada na porção centro-oriental do Estado de São Paulo, entre 22°17' e 22°18' de latitude S e 47°33' e 47°31' de longitude W (Fig. 1b), ocupando uma área de 1473 ha.

De acordo com a classificação climática regional

de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, clima tropical chuvoso, com chuvas no verão e inverno seco. Quanto à distribuição anual de chuvas, o regime é tropical com duas estações bem definidas: de abril a setembro, ocorre o período seco com índices pluviométricos menores que 80 mm mensais, e, de outubro a março, ocorre o período úmido, com índice pluviométrico típico maior que 135 mm mensais (Fig. 2). As temperaturas médias anuais situam-se entre 18,1 e 20,9°C, com ventos dominantes sendo provenientes dos quadrantes S e SE (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2003 e 2004).

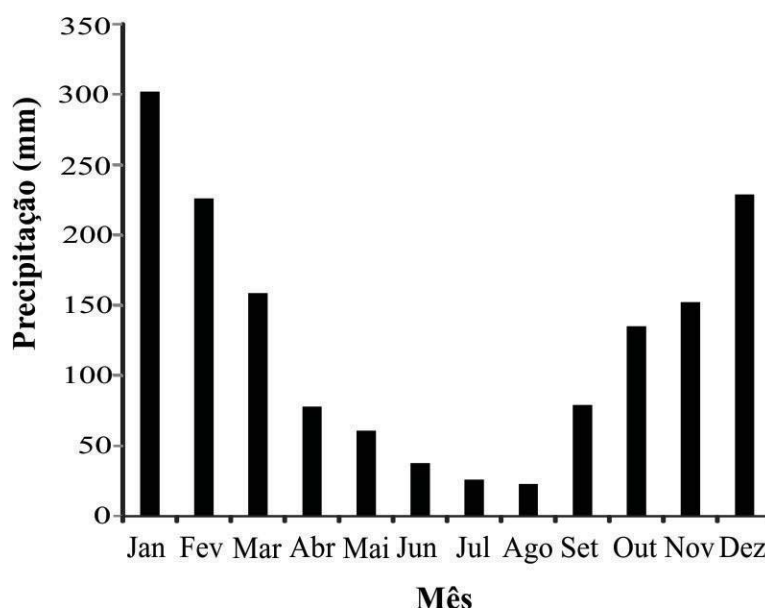


Figura 2 – Distribuição de precipitação na bacia do Ribeirão Cachoeirinha durante os anos de 2000 a 2010.

De acordo com levantamento realizado em IPT (1981), a área de estudo insere-se na Depressão Periférica Paulista, caracterizando uma topografia formada por colinas, com altitudes variando entre 550 m e 600 m. Possui topografia pouco acidentada, colinas baixas, de formas convexas suavizadas, separadas por vales, sem planícies aluviais importantes, com uma drenagem bem organizada no padrão dendrítico.

2.2. Geologia e pedologia

A Formação Rio Claro foi proposta por Björnberg e Landim (1966) para representar os depósitos sedimentares encontrados na bacia do Rio Piracicaba. De acordo com Perinotto e Lino (2012), a deposição da Formação Rio Claro ocorreu na era Cenozóica, durante o período Quaternário. Esta formação distribui-se uniformemente

ao longo da área de estudo, estando associada às áreas de maior altitude. A Formação Rio Claro é constituída de arenitos arcoseanos mal consolidados e mal classificados, arenitos conglomeráticos e argilitos dispostos em níveis topográficos entalhados por superfícies de erosão (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Distinguem-se duas sequências principais: (a) sucessão de estratos arenosos com intercalações de leitos argilosos; (b) sucessão mais argilosa com brechas intraformacionais e lentes arenosas nas margens do paleocanal em posição superior aos depósitos de calha. O contato da Formação Rio Claro possui seu limite inferior marcado por discordância angular (FÚLFARO e SUGUIO, 1968). As características desta unidade levam a interpretá-la como tendo sido depositada em condições continentais, maiormente fluviais em clima semiárido.

Em visitas a campo, foi possível observar a pre-

sença de lagoas distribuídas ao longo da região onde se insere a bacia do Ribeirão Cachoeirinha. De acordo com Björnberg *et al.* (1964 a, b), estas lagoas estão ligadas a remanescentes da sedimentação da Formação Rio Claro, denotando meandros abandonados. Tais meandros são considerados constituintes do sistema fluvial responsável pela gênese da mesma. Segundo Penteadó-Orellana (1981), as lagoas constituem “paleocabeceiras” de drenagem, sendo estas situadas em uma posição topográfica mais elevada que a atual, evidenciando épocas mais úmidas em tempos pretéritos.

Referente à pedologia, Oliveira e Prado (1984) citam a predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo este situado em setores de relevo plano da bacia, coincidindo com as áreas de ocorrência da Formação Rio Claro. Em menor proporção, observa-se a presença de Argissolo Vermelho-Amarelo, sobretudo em áreas de relevo ondulado. Tais áreas situam-se nos vales e estão associadas à Formação Corumbataí. Por fim, em áreas de fundo de vale observa-se a ocorrência de Gleissolo, sendo caracterizado pela presença de sedimentos não consolidados e horizontes de coloração acinzentada em razão da saturação por água durante longos períodos no decorrer do ano.

2.3. Amostragem e técnicas analíticas

A fim de quantificar as taxas de intemperismo e a remoção de solo da Formação Rio Claro, foram realizadas coletas e análises mensais durante um ano hidrológico das águas fluviais na bacia do Ribeirão Cachoeirinha (P1 na Figura 1). As coletas foram realizadas entre 06/01/2014 e 15/12/2014, sendo que o ponto de amostragem constitui uma seção fechada retangular com 3 m de largura por 2 metros de altura, localizada próxima ao exutório da bacia hidrográfica (foto na Fig. 1). Os parâmetros pH, temperatura (Temp - °C), condutividade elétrica (Cond - $\mu\text{S cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (OD - mg L^{-1}) e sólidos totais dissolvidos (STD - mg L^{-1}) foram caracterizados nas amostras de águas superficiais utilizando-se uma sonda multiparamétrica YSI 556, com leitura direta no próprio local de amostragem. O eletrodo de pH é do tipo combinado e os padrões de alta pureza utilizados para calibração foram de pH 4,00 ($4,01 \pm 0,01$ à $25 \pm 0,2$ °C) e 7,00 ($7,01 \pm 0,01$ à $25 \pm 0,2$ °C). O condutivímetro foi calibrado utilizando-se uma solução padrão de KCl ($1,0 \text{ mmol L}^{-1}$) de condutividade conhecida, ou seja, $147 \mu\text{S cm}^{-1}$ à 25 °C. A vazão foi

estimada de acordo com a Equação 1. Os sólidos totais suspensos (STS) foram quantificados através do Espectrofotômetro Hach DR 2800 (Método Fotométrico de 5 a $750 \pm 1 \text{ mg/L}$). Para tanto, as amostras foram coletadas em campo em frascos de polietileno (1 L) e posteriormente transportadas para o Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA), localizado no Departamento de Planejamento Territorial e Geopressamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP de Rio Claro.

$$Q = A.V.C \quad (1)$$

onde:

Q = vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$);

A = área úmida da seção transversal do Ribeirão Cachoeirinha (m^2);

V = velocidade do Ribeirão Cachoeirinha medida com o uso de medidor de fluxo instantâneo – molinete (m^2);

C = coeficiente empírico de correção para rios com fundo arenoso (0,8) (PALHARES *et al.*, 2007).

3. Resultados e Discussões

3.1. Caracterização das águas fluviais na bacia do Ribeirão Cachoeirinha

Os resultados obtidos para os parâmetros físicos para as águas superficiais do Ribeirão Cachoeirinha são expressos na Tabela 1. O período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março e o período seco de abril a setembro. Os valores de vazão e temperatura mostraram-se mais elevadas no período chuvoso do que no período seco, conforme esperado, com uma variação entre $0,19$ e $1,21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $16,9$ e $26,1$ °C, respectivamente. Os valores registrados de pH situam-se próximo à neutralidade, com valor mínimo de 6,1 em junho e julho e máximo de 6,9 em março. Como se pode observar pelos resultados obtidos, houve variação dos valores de condutividade elétrica ao longo do ano (entre 11 e $14 \mu\text{S cm}^{-1}$), sendo os períodos de chuva e seca que apresentaram os menores e maiores valores para este parâmetro, respectivamente. Em relação aos valores de oxigênio dissolvido, houve o fenômeno inverso ao observado para a condutividade elétrica e similar a vazão e temperatura, com variação entre $6,5$ e $7,6 \text{ mg L}^{-1}$ em julho e fevereiro, respectivamente. A

taxa de oxigênio dissolvido é menor durante o período mais seco devido à baixa velocidade de escoamento e temperatura ambiente em relação ao período chuvoso.

Em relação aos STD e STS, pode-se observar um comportamento inverso entre eles. A variação da concentração de STD foi entre 6,0 mg L⁻¹ (dezembro) e 12,0 mg L⁻¹ (maio), enquanto que para os STS foi entre 5,0 mg L⁻¹ (junho e agosto) e 19,0 mg L⁻¹ (dezembro). Estes resultados indicaram que nos meses chuvosos houve maior aporte de sedimentos para as águas superficiais da bacia do Ribeirão Cachoeirinha acarretando no aumento dos sólidos totais em suspensão (Fig. 3a). Além disso, pode concluir que há uma diluição nas águas superficiais desta bacia no período chuvoso devido à contribuição das águas de chuva, com diminuição

dos sólidos totais dissolvidos e, conseqüentemente, da condutividade elétrica (fig. 3b). O fluxo instantâneo diário transportado pelo Ribeirão Cachoeirinha pode ser obtido pela multiplicação da concentração do STD e STS pela vazão nos dias de amostragem (Fig. 3c). Este parâmetro é função da vazão, como descrito para a maioria dos rios do mundo (BERNER e BERNER, 1996), com o maior fluxo de sólidos totais dissolvidos e em suspensão carreados durante o período chuvoso.

De acordo com o Decreto Estadual nº 10.755 de 22 de novembro de 1977 (São Paulo, 1977), o Ribeirão Cachoeirinha está enquadrado como Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo que os valores de pH e oxigênio dissolvido deveriam estar entre as faixas de 6 e 9 e > 6 mg/L, respectivamente. Todos

Tabela 1: Vazão e parâmetros físico-químicos quantificados nas águas fluviais da bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Data de amostragem	Vazão (m ³ s ⁻¹)	Temperatura (°C)	pH	Cond ¹ (µS cm ⁻¹)	OD ² (mg L ⁻¹)	STD (mg L ⁻¹)	STS (mg L ⁻¹)
06/01/2014	0,58	26,1	6,7	12,0	7,3	7,0	13,0
03/02/2014	0,34	24,1	6,5	11,0	7,6	8,0	11,0
17/03/2014	0,39	23,3	6,9	12,0	7,4	9,0	10,0
14/04/2014	0,52	23,4	6,7	14,0	7,1	7,0	10,0
12/05/2014	0,19	18,6	6,2	13,0	7,1	12,0	9,0
16/06/2014	0,32	18,0	6,1	13,0	7,2	9,0	5,0
07/07/2014	0,32	17,1	6,1	12,0	6,5	10,0	6,0
11/08/2014	0,24	16,9	6,5	14,0	6,7	11,0	5,0
08/09/2014	0,25	20,0	6,2	14,0	6,9	10,0	6,0
06/10/2014	0,32	19,3	6,7	11,0	7,1	9,0	10,0
03/11/2014	0,84	23,7	6,8	12,0	7,2	7,0	12,0
15/12/2014	1,21	22,3	6,7	13,0	7,3	6,0	19,0
Média – período de estudo	0,46	21,0	6,5	12,5	7,1	8,8	9,7
Média - período chuvoso	0,61	23,1	6,7	11,8	7,3	7,7	12,5
Média – período seco	0,31	19,0	6,3	13,3	6,9	9,8	6,8

¹ Condutividade elétrica ² Oxigênio dissolvido

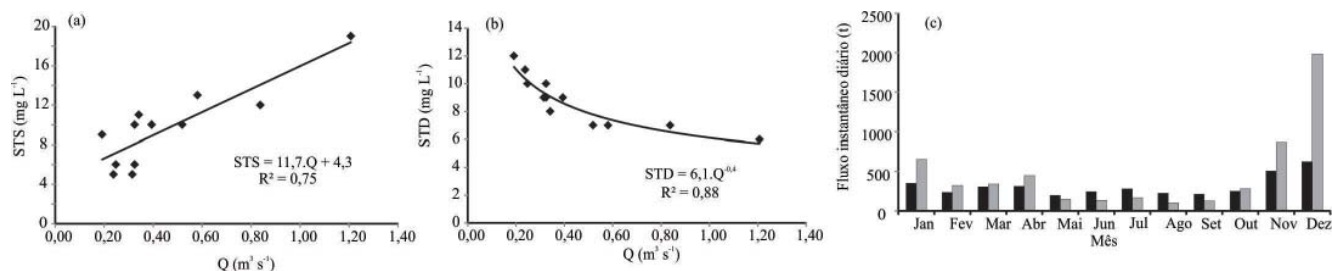


Figura 3 – Relação vazão versus STD (a), vazão versus STS (b) e fluxo instantâneo diário (c) (STD em preto e STS em cinza) para o Ribeirão Cachoeirinha.

os valores de pH e oxigênio dissolvido quantificados no Ribeirão Cachoeirinha no ano de 2014 estiveram inseridos nos intervalos preconizados para rios de Classe 2 (CONAMA nº 357/2005). Assim, o Ribeirão Cachoeirinha apresentou boa qualidade de água em relação aos parâmetros analisados ao longo de todo o ano de 2014.

3.2. Intemperismo químico

Os processos de intemperismo químico são fortemente influenciados pela natureza dos minerais primários, clima, biosfera e tempo (MARTINI e CHESWORTH, 1992). Em relação aos processos intempéricos, a bacia do Ribeirão Cachoeirinha está inserida em uma região onde o clima apresenta uma pluviosidade de aproximadamente 1500 mm ano⁻¹ e temperatura de 22° C, causando uma alteração química moderada, com predomínio do processo de monossilatização (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004). Esse processo ocorre pela hidrólise parcial da rocha mãe, com parte do SiO₂ permanecendo no perfil de intemperismo e Na⁺, Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ sendo eliminados (TOLEDO *et al.*, 2000).

Garrels e 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 2, onde a contribuição advinda do intemperismo químico das rochas pode ser obtida pela concentração de STD e a vazão da bacia hidrográfica de estudo, descontando-se somente o aporte atmosférico em áreas onde a poluição pontual ou difusa não é significativa, como é o caso da bacia do Ribeirão Cachoeirinha. Usando a densidade ρ (g cm⁻³) das rochas e o fluxo anual de material removido W_q pode-se determinar a taxa de intemperismo químico das rochas H_q (cm a⁻¹) em uma bacia hidrográfica, segundo a Equação 3.

$$W_q = \frac{[STD] \cdot Q_{anual}}{S} - [STD] \cdot P_{anual} \quad (2)$$

$$H_q = \frac{10^{-4} \cdot W_q}{\rho} \quad (3)$$

onde:

W_q = fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico (g m⁻² ano⁻¹ ou t km⁻² a⁻¹);

$[STD]$ = concentração média de sólidos totais dissolvi-

dos nas águas fluviais e pluviais (g L⁻¹);

Q_{anual} = vazão anual (L a⁻¹);

P_{anual} = precipitação anual (L m² a⁻¹);

S = área da bacia (m²).

A concentração média de STD nas águas fluviais na bacia do Ribeirão Cachoeirinha foi de 8,8 mg L⁻¹. Considerando uma vazão média de 0,46 m³ s⁻¹ e uma área 14,73 km², um total de 7,8 t km⁻² a⁻¹ de material dissolvido foi transportado pelas águas do Ribeirão Cachoeirinha no período de estudo. Para o cálculo do fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico das rochas sedimentares do Ribeirão Cachoeirinha, foi utilizada uma concentração média de STD nas águas pluviais de 6,5 mg L⁻¹, obtida para duas hidrográficas vizinhas a bacia do Ribeirão Cachoeirinha, as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga (SPATTI JUNIOR, 2015). Considerando uma precipitação de 900 mm para o ano de 2014 na bacia do Ribeirão Cachoeirinha (GARCIA *et al.*, 2004), obteve-se um aporte atmosférico de 5,9 t km⁻² a⁻¹. Assim, com o uso da Equação 2, foi possível obter um fluxo anual de material removido pelo intemperismo químico das rochas da Formação Rio Claro de 1,9 t km⁻² a⁻¹ ou 114,3 t a⁻¹.

Considerando este resultado e a densidade de 2,6 g cm⁻³ das rochas sedimentares desta bacia sedimentar (SPATTI JÚNIOR, 2015), pode-se, através da Equação 3, indicar uma taxa de intemperismo químico associado aos processos de hidrólise dos minerais silicáticos da Formação Rio Claro de 0,7 m Ma⁻¹. O valor calculado neste estudo é menor que o indicado para dioritos em Porto Rico (58 m Ma⁻¹ - WHITE *et al.*, 1998), carbonatos na França (25 m Ma⁻¹ - ROY *et al.*, 1999), rochas cristalinas na bacia do Rio Congo (8,5 m Ma⁻¹ - PROBST, 1992), xistos na Guiana Francesa (8 m Ma⁻¹ - FREYSINET e FARAH, 2000), granitos e xistos na bacia do Rio Niger (4,7 – 6,1 m Ma⁻¹ - BOEGLIN e PROBST, 1998), rochas metamórficas (5,5 m Ma⁻¹ – Pensilvânia, USA - PRICE *et al.*, 2008), rochas sedimentares e cristalinas na bacia Rio Amazonas (15 m Ma⁻¹ - MORTATTI e PROBST, 2003), rochas alcalinas em Poços de Caldas (15 m Ma⁻¹ - BONOTTO *et al.*, 2007), granodioritos em Minas Gerais (8,9 m Ma⁻¹ - CARMO e VASCONCELOS, 2004) e rochas basálticas da bacia do Paraná (6 m Ma⁻¹ - CONCEIÇÃO *et al.*, 2015). Assim, o resultado obtido para rochas sedimentares da Formação Rio Claro confirma a baixa taxa de intemperismo químico destas

rochas em relação a outros tipos de rochas (carbonatos, basaltos, granitos, xistos, gnaisses e alcalinas) encontradas no Brasil e ao redor do mundo.

3.3. Remoção de solo

A quantidade total de solo removido pela erosão mecânica por unidade de área, W_m ($t\ km^{-2}\ a^{-1}$) pode ser determinada pelo uso da Equação 4. Já a taxa de remoção de solo H_m ($cm\ a^{-1}$) é obtida pelo uso da densidade dos solos ρ ($g\ cm^{-3}$) e a quantidade total de material removido pela erosão (W_m), de acordo com a Equação 5.

$$W_m = \frac{[STS] \cdot Q_{anual}}{S} \quad (4)$$

$$H_m = \frac{10^{-4} \cdot W_m}{\rho} \quad (5)$$

onde:

$[STS]$ = concentração média de sólidos totais em suspensão nas águas fluviais ($g\ L^{-1}$);

Q_{anual} = vazão anual ($L\ a^{-1}$);

Para o cálculo da remoção de solo, utilizaram-se os dados médios de STS ($9,7\ mg\ L^{-1}$), vazão de $0,46\ m^3\ s^{-1}$ e área de $14,73\ km^2$ (Tabela 1). O fluxo anual de solo removido pela erosão foi de $11,5\ t\ km^{-2}\ a^{-1}$ ou $169,8\ t\ a^{-1}$. Esse valor pode estar provavelmente subestimado devido a não inclusão do transporte de fundo do Ribeirão Cachoeirinha. Utilizando-se a densidade dos solos da bacia do Ribeirão Cachoeirinha igual a $1,2\ g\ cm^{-3}$ (COUTO JÚNIOR, 2016), uma taxa de remoção de solo de $9,6\ m\ Ma^{-1}$ pode ser obtida para os solos originados na Formação Rio Claro. Infelizmente, estudos associados à avaliação das taxas atuais de remoção de solo são raros na literatura. Contudo, o valor da taxa de remoção de solo na bacia do Ribeirão Cachoeirinha é menor ao obtido para a bacia do Rio Amazonas ($15\ Ma^{-1}$ – MORTATTI e PROBST, 2003) e maior que os valores encontrados para a bacia do Rio Niger ($2,4\ Ma^{-1}$ – BOEGLIN e PROBST, 1998).

De acordo com Penteadó (1978), a proporcionalidade entre os processos intempéricos e de remoção dos solos levaria a um balanço de equilíbrio de erosão ($D = W_q - W_m$), onde a espessura do solo permaneceria intocada. Se a taxa de remoção do solo fosse maior

que sua taxa de formação, haveria balanço positivo de erosão, com adelgaçamento do solo. Já, se o processo fosse inverso, haveria balanço negativo de erosão, com espessamento do solo. Com os resultados apresentados nesse trabalho para as taxas de intemperismo químico ($0,7\ m\ Ma^{-1}$) e remoção dos solos ($9,6\ m\ Ma^{-1}$), a espessura do solo se reduz nas condições climáticas atuais, ou seja, há um balanço positivo em relação equilíbrio de erosão na bacia do Córrego Cachoeirinha.

A comparação das taxas de remoção de solo modernas obtidas através de balanço de massa em pequenas bacias hidrográficas com taxas de denudação passadas (Mesozoicas e Cenozoicas) é provavelmente um exercício tênue. Resfriamento /denudação crustal é usualmente quantificada usando-se traços de fissão em apatita (AFT), apatita (U-Th)/He (AHe) e *in situ* ^{10}Be cosmogênico. Na margem atlântica brasileira sudeste, as idades AFT mais velhas foram obtidas no interior, com as idades mais jovens sendo progressivamente caracterizadas até a costa do continente com o Oceano Atlântico (GALLAGHER *et al.*, 1994, 1995; HACKSPACHER *et al.*, 2004; COGNÉ *et al.*, 2011). O mais significativo evento de resfriamento/denudação ocorreu, após a abertura dos continentes e o magmatismo alcalino, entre 90 e 60 Ma (GALLAGHER *et al.*, 1995; THOMPSON *et al.*, 1998; RICCOMINI *et al.*, 2005; COGNÉ *et al.*, 2011), com os sedimentos continentais siliciclásticos depositados na Bacia Sedimentar de Santos (MOREIRA *et al.*, 2007). Valores de denudação passadas obtidos no sudeste brasileiro variaram de $8,8$ a $15,7\ m\ Ma^{-1}$, usando *in situ* ^{10}Be cosmogênico (CHEREM *et al.*, 2012).

Riffel *et al.* (2015) estabeleceram uma idade mínima de $\sim 35\ Ma$ para a formação do Segundo Planalto Paranaense, o qual corresponde a Depressão Periférica Paulista, usando cristais de óxido de manganês e goethitas datados pelos métodos $^{40}Ar/^{39}Ar$ e (U-Th)/He, respectivamente. Essa idade implica numa taxa de denudação de $\sim 9\ m\ Ma^{-1}$ desde então, com períodos de intenso intemperismo químico entre 17 e 9 Ma. A taxa de denudação atual aqui apresentada de $9,6\ m\ Ma^{-1}$ é consistente com as estimativas de denudação passada obtidas por estudos independentes conduzidos por Cherm *et al.* (2012) e Riffel *et al.* (2015), sugerindo talvez que as taxas de denudação nesta região brasileira tenham flutuações dentro de um faixa relativamente estreita de magnitude desde 35 Ma até hoje. Além disso, a coincidência entre as taxas atuais e passadas de denudação sugerem que as condições de denudação permanecem

relativamente estáveis nesta região do sudeste brasileiro, pois a área de estudo manteve-se mais ou menos na mesma latitude durante a deriva para o oeste da América do Sul, desde o tempo de separação dos continentes e erupção dos basaltos da Formação Serra Geral.

4. Considerações Finais

O presente artigo avaliou as taxas de intemperismo químico e remoção de solo na região de afloramento das rochas sedimentares da Formação Rio Claro, sendo a bacia do Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP), escolhida para isso. A temperatura, vazão e STS apresentaram maiores valores durante o verão. Já os parâmetros condutividade elétrica e STD apresentaram comportamento inverso, ou seja, menores valores durante o período chuvoso, devido ao efeito de diluição das águas pluviais. O fluxo anual de material dissolvido transportado pelo Ribeirão Cachoeirinha foi de 1,9 t km⁻² a⁻¹ ou 114,3 t a⁻¹, com uma taxa de intemperismo dos minerais silicáticos presentes na Formação Rio Claro de 0,7 m Ma⁻¹, confirmando a baixa taxa de intemperismo químico destas rochas em relação a outros tipos de rochas (carbonatos, basaltos, granitos, xistos, gnaisses e alcalinas) encontradas no Brasil e ao redor do mundo. A quantidade de solo removido na bacia do Ribeirão Cachoeirinha foi de 11,5 t km⁻² a⁻¹ ou 169,8 t a⁻¹, com uma taxa de erosão para solos originados na Formação Rio Claro de 9,6 m Ma⁻¹, sendo tais valores coerentes com os resultados obtidos em estudos realizados na região sudeste do Brasil. Assim, conclui-se que há balanço positivo de denudação na região onde afloram as rochas da Formação Rio Claro, ou seja, domínio de remoção de solo em relação à sua formação.

5. Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Processo N° 2014/02189-6) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo N° 400085/2009-7).

6. Referências Bibliográficas

AMIOTTE-SUCHET, P.; PROBST, J.L. Modeling of atmospheric CO₂ consumption by chemical weathering of rocks: application to the Garonne, Congo and Amazon basins. **Chemical Geology**,

Amsterdam, v. 107, n. 3, p. 205-210, 1993.

BAIN, D. C.; ROE, M. J.; DUTHIE, D.M.L.; THOMSOM, C.M. The influence of mineralogy on weathering rates and processes in an acid-sensitive granitic catchment. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 16, n. 7, p. 931-937, 2001.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. Global environment water, air, and geochemical cycles. Prentice-Hall, **Englewood Cliffs**, New Jersey, 1996.

BJORNBERG, A. J. S.; LANDIM, P. M. B. Contribuição ao estudo da formação Rio Claro (Neocenoico). **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 15, n. 4, p. 43-67, 1966.

BJÖRNBERG, A. J. S.; LANDIM, P. M. B.; MEIRELLES, G.M.F. Restos de plantas modernas em níveis elevados na região de Rio Claro - São Paulo. **Boletim Escola Engenharia de São Carlos**, USP, v. 11, p. 37- 57, 1964 a.

BJÖRNBERG, A. J. S.; MACIEL, A. C.; GANDOLFI, N. Notas sobre os depósitos modernos da região de Rio Claro - São Paulo. **Boletim Escola Engenharia de São Carlos**, USP, v.11, p. 21-36, 1964 b.

BOEGLIN, J. L.; PROBST, J. L. Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.148, n. 3, p. 137-156, 1998.

BOEGLIN, J. L.; MORTATTI, J.; TARDY, Y. Chemical and mechanical erosion in the upper Niger basin (Guinea, Mali). Geochemical weathering budget in tropical environment. **Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Series**, Paris, v. 3, n. 325, p. 185-191, 1997.

BONOTTO, D.M.; FUJIMORI, K.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M. Determination of weathering rate of the Morro do Ferro Th-REEs deposit, Brazil using U-isotope method. **Applied Radiation and Isotopes**, USA, v. 65, n. 5, p. 474-481, 2007.

CARMO, I. O.; VASCONCELOS, P. Geochronological evidence for pervasive miocene weathering, Minas Gerais, Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, Oxford, v. 29, n. 11, p. 1303-1320, 2004.

CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C.A.C.; SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, A.F.D.C.; BRAUCHER, R.; BOURLÉS, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P.; NALINI JÚNIOR, H.A. Denudação química e rebaixamento do relevo em bordas interplanálticas com substrato granítico: dois exemplos no SE de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, 2012.

CLOW, D. W.; DREVER, J. I. Weathering rates as a function of

- flow through an alpine soil. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 132, n. 1, p. 131-141, 1996.
- COGNÉ, N.; GALLAGHER, K.; COBBOLD, P. R. Post-rift reactivation of the onshore margin of southeast Brazil: Evidence from apatite (U–Th)/He and fission-track data. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 309, n. 1, p. 118-130, 2011.
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Use of U-isotope disequilibrium to evaluate the weathering rate and fertilizer-derived uranium in São Paulo state, Brazil. **Environmental Geology**, Berlin, v. 44, n. 4, p. 408-418, 2003.
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 19, n. 4, p. 575-591, 2004.
- CONCEIÇÃO, F.T.; SANTOS, C.M.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B.; GODOY, L.H. Chemical weathering rate, denudation rate, and atmospheric and soil CO₂ consumption of Paraná flood basalts in São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 233, p. 41-51, 2015.
- CONAMA, Resolução. Conselho Nacional do Meio Ambiente–CONAMA, Resolução n 357, de 17 de março de 2005. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, 2005.
- COUTO JÚNIOR, A.A. **Erosão hídrica e transporte de sedimentos na bacia do Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP)**. 90f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.
- DESSERT, C.; DUPRÉ, B.; FRANÇOIS, L.M.; SCHOTT, J.; GAILLARDET, J.; CHAKRAPANI, G.; BAJPAI, S. Erosion of Deccan Traps determined by river geochemistry: impact on the global climate and the 87 Sr/86 Sr ratio of seawater. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 188, n.3, p. 459-474, 2001.
- DESSERT, C.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J.; FRANÇOIS, L.M.; ALLÈGRE, C.J. Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 202, n.3, p. 257-273, 2003.
- DUPRÉ, B.; DESSERT, C.; OLIVA, P.; GODDÉRIS, Y.; VIERS, J.; FRANÇOIS, L.; MILLOT, R.; GAILLARDET, J. Rivers, chemical weathering and Earth's climate. **Comptes Rendus Geoscience**, Paris, v. 335, n. 16, p. 1141-1160, 2003.
- EDET, A.; UKPONG, A.; NGANJE, T. Hydrochemical studies of Cross River Basin (southeastern Nigeria) river systems using cross plots, statistics and water quality index. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 70, n. 7, p. 3043-3056, 2013.
- FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2/4, p. 147-191, 1988.
- FREYSSINET, P.; FARAH, A.S. Geochemical mass balance and weathering rates of ultramafic schists in Amazonia. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 133-151, 2000.
- FÚLFARO, V. J.; SUGUIO, K. A. A. Formação Rio Claro (Neocenozóico) e seu ambiente de deposição. **O IGG**, v. 20, p. 45-60, 1968.
- GAILLARDET, J.; DUPRE, B.; ALLEGRE, C.J. NÉGREL, P. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. **Chemical geology**, Amsterdam, v. 142, n. 3, p. 141-173, 1997.
- GAILLARDET, J.; DUPRÉ, P.; LOUVAT, P.; ALLÈGRE, C.J. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 159, n. 1, p. 3-30, 1999.
- GAILLARDET, J.; MILLOT, R.; DUPRÉ, B. Chemical denudation rates of the western Canadian orogenic belt: the Stikine terrane. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 201, n. 3, p. 257-279, 2003.
- GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. The denudation history of the onshore continental margin of SE Brazil inferred from apatite fission track data. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, Washington, v. 99, n. B9, p. 18117-18145, 1994.
- GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Denudation, fission track analysis and the long-term evolution of passive margin topography: application to the southeast Brazilian margin. **Journal of South American Earth Sciences**, UK, v. 8, n. 1, p. 65-77, 1995.
- GAO, Q.; TAO, Z.; HUANG, X.; NAN, L.; YU, K.; WANG, Z. Chemical weathering and CO₂ consumption in the Xijiang River basin, South China. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 106, n. 3, p. 324-332, 2009.
- GARCIA, G.; HEBERT, H.; PERINOTTO, J.; CASTRO, J. Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí. **Rio Claro: Universidade Estadual Paulista**, v. 13, n. 03, p. 2004, 2004. Available from: < <http://www.rc.unesp.br/>>. Access in: Jul. 2015.
- GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T. **Evolution of sedimentary**

- rocks. New York: Norton, 397 p, 1971.
- GIBBS, R. J. The geochemistry of the Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 78, n. 10, p. 1203-1232, 1967.
- GRASBY, S. E.; HUTCHEON, I. Chemical dynamics and weathering rates of a carbonate basin Bow River, southern Alberta. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 67-77, 2000.
- GURUMURTHY, G. P.; BALAKRISHNA, K.; RIOTTE, J.; BRAUN, J. J.; AUDRY, S.; SHANKAR, H. N. U.; MANJUNATHA, B. R. Controls on intense silicate weathering in a tropical river, southwestern India. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 300, p. 61-69, 2012.
- HACH COMPANY. DR/2800 Spectrophotometer, Procedure manual. USA, 2003.
- HACKSPACHER, P. C.; RIBEIRO, L. F. B.; RIBEIRO, M. C. S.; FETTER, A. H.; NETO, J. H.; TELLO, C. E. S.; DANTAS, E. Consolidation and break-up of the South American platform in southeastern Brazil: tectonothermal and denudation histories. **Gondwana Research**, Japan, v. 7, n. 1, p. 91-101, 2004.
- HACKSPACHER, P. C.; OLIVEIRA, M. A. F.; GODOY, A. M. Weathering rates at Alto Sorocaba basin, Brazil, using U-isotopes and major cations. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 61, n.5, p. 1025-1036, 2010.
- HORBE, A. M. C.; LAGES, A. S.; MOQUET, J. S.; SANTOS, R. V.; SEYLER, P. Geochemistry of organic-rich river waters in Amazonia: Insights on weathering processes of intertropical cratonic terrain. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 65, p. 22-35, 2016.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, v.1, 65 p, 1981.
- JOHNSON, N.M.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; PIERCE, P.S. Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 32, n. 5, p.531-545, 1968.
- KATTAN, Z.; GAC, J.I.; PROBST, J.L. Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal Basin estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 59-76, 1987.
- LAND, M.; INGRI, J.; ÖHLANDER, B. Past and present weathering rates in northern Sweden. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 14, n. 6, p. 761-774, 1999.
- LARAQUE, A.; MOQUET, J.S.; ALKATTAN, R.; STEIGER, J.; MORA, A.; ADÈLE, G.; CASTELLANOS, B.; LAGANE, C.; LOPEZ, J.L.; PEREZ, J.; RODRIGUEZ, M.; ROSALES, J. Seasonal variability of total dissolved fluxes and origin of major dissolved elements within a large tropical river: the Orinoco, Venezuela. **Journal of South American Earth Sciences**, UK, v. 44, p. 4-17, 2013.
- LERMAN, A. Weathering Rates and Major Transport Processes an Introduction. In: **Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles**, Netherlands, p. 1-10, 1988.
- LERMAN, A.; WU, F.; MACKENZIE, F.T. O₂ and H₂SO₄ consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in the global carbon balance. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 326-350, 2007.
- LI, S.; LU, X.X.; BUSH, R. Chemical weathering and CO₂ consumption in the Lower Mekong River. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 472, p. 162-177, 2014.
- LI, S.; ZHANG, Q. Geochemistry of the upper Han River basin, China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 23, n. 12, p. 3535-3544, 2008
- LOUVAT, P. **Etude géochimique de l'érosion fluviale d'îles volcaniques à l'aide des bilans d'éléments majeurs et traces**. Tese de Doutorado, 1997.
- LOUVAT, P.; ALLÈGRE, C.J. Present denudation rates on the island of Reunion determined by river geochemistry: basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 61, n. 17, p. 3645-3669, 1997.
- LOUVAT, P.; ALLEGRE, C. J. Riverine erosion rates on Sao Miguel volcanic island, Azores archipelago. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 148, n. 3, p. 177-200, 1998
- LOUVAT, P.; GISLASON, S. R.; ALLÈGRE, C. J. Chemical and mechanical erosion rates in Iceland as deduced from river dissolved and solid material. **American Journal of Science**, Stanford, v. 308, n. 5, p. 679-726, 2008.
- MILLOT, R.; GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C.J. The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of the Canadian Shield. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 196, n. 1, p. 83-98, 2002.
- MARTINI, I. P.; CHESWORTH, W. Weathering, soils and

- paleosols. **Elsevier Science Publications**, Amsterdam, p. 19-40, 1992.
- MOREIRA, J.L.P.; MADEIRA, C.V.; GIL, J.A.; MACHADO, M.A.P. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 15, p. 227-251, 2007.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Salinity and weathering rate of rocks in a semi-arid region. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 71, n. 1, p. 131-147, 1984.
- MOREIRA-NORDEMANN, L.M. Use of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ disequilibrium in measuring chemical weathering rate of rocks. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 44, n. 1, p. 103-108, 1980.
- MORTATTI, J.; PROBST, J.L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO_2 uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical geology**, Amsterdam, v. 197, n. 1, p. 177-196, 2003.
- NKOUNKOU R.R.; PROBST J.L. Hydrology and geochemistry of the Congo river system. **SCOPE/UNEP-Sonderband**, n. 64, p. 483-508, 1987.
- OLIVA, P.; VIERS, J.; DUPRÉ, B. Chemical weathering in granitic environments. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 202, n. 3, p. 225-256, 2003.
- OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. Levantamento pedológico do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos. II. Memorial descritivo. **Boletim Técnico**, Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, v. 98, 188p, 1984.
- PACHECO, F.A.L.; VAN DER WEIJDEN, C.H. Mineral weathering rates calculated from spring water data: a case study in an area with intensive agriculture, the Morais Massif, northeast Portugal. **Applied geochemistry**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 583-603, 2002.
- PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J.B.; DE LIMA, J.M.M.; MULLER, S.; CESTONARO, T. Medição da vazão em rios pelo método do flutuador. **Comunicado Técnico**, v. 455, 2007.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 2ª Edição. IBGE, Rio de Janeiro, 180 p, 1978.
- PENTEADO-ORELLANA, M.M. Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, p. 23-56, 1981.
- PERAY, N. **Composition chimique des eaux e l'III à Strasbourg: variations saisonnières des flux de matières et bilan de l'érosion chimique**. Strasbourg: ULP, Centre de Géochimie de la Surface (Report), 1998.
- PERINOTTO, J. A.; LINO, I. C. Geologia, recursos minerais e passivos ambientais. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí, Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro**.
- PRICE, J. R.; HEITMANN, N.; HULL, J.; SZYMANSKI, D. Long-term average mineral weathering rates from watershed geochemical mass balance methods: Using mineral modal abundances to solve more equations in more unknowns. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 254, n. 1, p. 36-51, 2008.
- PROBST, J.L. Dissolved and suspended matter transported by the Girou River (France): mechanical and chemical erosion rates in a calcareous molasse basin. **Hydrological Science Journal**, Oxford, v. 31, n. 1, p. 61-79, 1986.
- PROBST, J.L. **Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années**. 1990. Tese de Doutorado. Strasbourg 1.
- PROBST, J.L.; MORTATTI, J.; TARDY, Y. Carbon river fluxes and weathering CO_2 consumption in the Congo and Amazon river basins. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 1-13, 1994.
- PROBST, J.L.; NKOUNKOU, R. R.; KREMPP, G.; BRICQUET, J. P.; THIÉBAUX, J. P.; OLIVRY, J. C. Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987–1989. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 135, n.1, p. 237-257, 1992.
- RIFFEL, S. B.; VASCONCELOS, P.M.; CARMO, I.O.; FARLEY, K.A. Combined $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and (U–Th)/He geochronological constraints on long-term landscape evolution of the Second Paraná Plateau and its ruiniform surface features, Paraná, Brazil. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 233, p. 52-63, 2015.
- ROY, S.; GAILLARDET, J.; ALLEGRE, C. J. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine river, France: anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 63, n. 9, p. 1277-1292, 1999.
- RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V. F.; GOMES, C. B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southeastern Brazilian Platform. **Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform**, v. 123, p. 31-56, 2005.
- SARDINHA, D. S.; BONOTTO, Daniel Marcos; CONCEIÇÃO,

- F. T. Weathering rates at Alto Sorocaba basin, Brazil, using U-isotopes and major cations. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 61, n. 5, p. 1025-1036, 2010.
- _____. Decreto no 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 1977.
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1974. p. 41-65.
- SEMHI, K.; AMIOTTE-SUCHET, P.; CLAUER, N.; PROBST, J.L. Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 15, n. 6, p. 865-878, 2000.
- SPATTI JUNIOR, E. P.; CONCEIÇÃO, F.T.; GUEDES JÚNIOR, E.; PINTO, S.A.F.; PEREIRA, L.H. Balanço entre intemperismo químico e remoção do solo na bacia do ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinadas por geoquímica fluvial/Balance between chemical weathering and soil removal in the Monjolo Grande stream basin, Ipeúna (SP), determined by fluvial geochemistry. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.
- SPATTI JUNIOR, E.P. **Avaliação e comparação das taxas de erosão química e mecânica entre arenitos e argilitos: implicações na evolução geomorfológica da bacia do Rio Corumbataí (SP)**. 92f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.
- STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon: 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Washington, v. 86, n. C10, p. 9844-9858, 1981.
- STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon: 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Washington, v. 88, n. C14, p. 9671-9688, 1983.
- STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon: 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Washington, v. 92, n. C8, p. 8293-8302, 1987.
- SUMMERFIELD, M. A.; HULTON, N. J. Natural controls of fluvial denudation rates in major world drainage basins. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, Washington, v. 99, n. B7, p. 13871-13883, 1994.
- TARDY, Y. Une méthode de détermination des types d'altération actuels par l'étude des eaux en pays granitiques et gneissiques. **Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences**. Paris, v.267, p. 579-582, 1968.
- TARDY, Y. **Géochimie des altérations: étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique**. Strasbourg: Service de la Carte Géologique d'Alsace et Lorraine, 199p, 1969.
- TARDY, Y. Characterization of principal weathering types by geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.7, n.2, p.253-271, 1971.
- TARDY, Y. **Le cycle de l'eau: climats, paléoclimats et géochimie globale**. Paris: Masson, 338p, 1986.
- TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. Intemperismo e formação do solo. In: Teixeira, W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Eds). Intemperismo e formação do solo. **Decifrando a Terra**. Oficina de textos, São Paulo, p. 139-166, 2000.
- THOMPSON, R.N.; GIBSON, S.A.; MITCHELL, J.G.; DICKIN, A.P.; LEONARDOS, O.H.; BROD, J.A.; GREENWOOD, J.C. Migrating Cretaceous Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the Deflected Trinidad Mantle Plume? **Journal of Petrology**, Oxford, v. 39, n. 8, p. 1493-1526, 1998.
- VANDER WEIJDEN, H.; PACHECO, F.A.L. Hydrogeochemistry in the Vouga River basin (central Portugal): pollution and chemical weathering. **Applied geochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 580-613, 2006.
- VIERS, J.; DUPRÉ, B.; BRAUN, J.J.; DEBERDT, S.; ANGELETTI, B.; NGOUPAYOU, J.N.; MICHARD, A. Major and trace element abundances, and strontium isotopes in the Nyong basin rivers (Cameroon): constraints on chemical weathering processes and elements transport mechanisms in humid tropical environments. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 211-241, 2000.
- VIERS, J.; OLIVA, P.; DANDURAND, J. L.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J. Chemical weathering rates, CO₂ consumption, and control parameters deduced from the chemical composition of rivers. **Holland, HD, Turekian, KK, (Exec Eds.), Surface and Groundwater, Weathering and Soils. Treatise on**

Geochemistry, v. 5, p. 1-25, 2007.

WHITE, A. F.; BLUM, A. E. Effects of climate on chemical weathering in watersheds. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 59, n. 9, p. 1729-1747, 1995.

WHITE, A. F.; BLUM, A. E.; SCHULTZ, M. S.; VIVIT, D. V.; STONE, D. A.; LARSEN, M. C.; SHEILA, M. F.; EBERL, D. Chemical weathering in a tropical watershed, Luquillo Mountains, Puerto Rico: I. Long-term versus short-term weathering fluxes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 62, n. 2, p. 209-226, 1998.

ZAKHAROVA, E.A.; POKROVSKY, O.S.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J.; EFIMOVA, L.E. Chemical weathering of silicate rocks in Karelia region and Kola peninsula, NW Russia: assessing the effect of rock composition, wetlands and vegetation. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 242, n. 1, p. 255-277, 2007.

XU, Z.; LIU, C.Q. Water geochemistry of the Xijiang basin rivers, South China: Chemical weathering and CO₂ consumption. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 25, n. 10, p. 1603-1614, 2010.