

Universidade Estadual Paulista  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

Eder Paulo Spatti Junior

Avaliação e comparação das taxas de erosão química e  
mecânica entre arenitos e argilitos: implicações na  
evolução geomorfológica da bacia do Rio Corumbataí  
(SP)

Rio Claro

2015

Universidade Estadual Paulista  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

Eder Paulo Spatti Junior

Avaliação e comparação das taxas de erosão química e  
mecânica entre arenitos e argilitos: implicações na  
evolução geomorfológica da bacia do Rio Corumbataí  
(SP)

Tese de Doutorado apresentada ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas como requisito para a obtenção  
do título de Doutor em Geociências e  
Meio Ambiente.

Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

Rio Claro  
2015

551.42 Spatti Junior, Eder Paulo  
S738a Avaliação e comparação das taxas de erosão química e mecânica entre arenitos e argilitos : implicações na evolução geomorfológica da bacia do Rio Corumbataí (SP) / Eder Paulo Spatti Junior. - Rio Claro, 2015  
92 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

1. Geomorfologia. 2. Intemperismo químico. 3. Erosão. 4. Evolução geomorfológica. I. Título.

EDER PAULO SPATTI JUNIOR

Avaliação e comparação das taxas de erosão química e mecânica  
entre arenitos e argilitos: implicações na evolução geomorfológica  
da bacia do Rio Corumbataí (SP)

Tese de Doutorado apresentada ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas como requisito para a obtenção  
do título de Doutor em Geociências e  
Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição – Orientador  
(IGCE/UNESP/Rio Claro)

Prof. Dr. Alexandre Martins Fernandes  
(FEB/UNESP/Bauru)

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha  
(UNIFAL, Poços de Caldas)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cenira Maria Lupinacci  
(IGCE/UNESP/Rio Claro)

Prof. Titular Gilberto José Garcia  
(IGCE/UNESP/Rio Claro)

Resultado Final – APROVADO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela fé e pelo trabalho de todos os dias.

A meus pais Eder e Benedita, pelo amor e pela educação que sempre recebi durante toda a vida.

A Marina, minha mulher, pelo amor, compreensão e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus sogros, Ivan e Janete pelo acolhimento e amizade tão sinceros.

A meu amigo e orientador Fabiano Tomazini da Conceição, por todos os conselhos, auxílios e correções de rumo, tão necessários ao bom andamento desta pesquisa.

À FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos através do processo 2011/08133-4, fundamental para a realização desta pesquisa.

Ao professor Titular Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto, pelos conselhos e orientação na condução deste trabalho.

Ao Dr. Alexandre Martins Fernandes, cuja ajuda diária fez com que este e tantos outros trabalhos pudessem ser realizados com mais qualidade.

Ao professor Diego de Souza Sardinha, pela ajuda e conselhos desde os tempos de mestrado.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi, profissional exemplar e que contribuiu muito no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Amauri Menegário, pela ajuda na parte hidroquímica desde o mestrado.

Aos parceiros de labuta Rafael, Antonio, Isabel, Edvânia e Guedes pelos trabalhos de campo, viagens e boas risadas ao longo destes anos.

A meu amigo e compadre Luiz Henrique Pereira, cuja amizade e parceria profissional se fortalecem com o tempo.

Aos amigos Alexandre Caretta, Danilo Piccoli, Juliana Carvalho, Thaís Thinós e Luiz Ricardo (Beirão) parceiros desde a graduação.

Aos funcionários do DEPLAN, pela solicitude e profissionalismo com que realizam seu trabalho.

E àqueles que de alguma forma contribuíram para esta etapa de minha vida, agradeço.

*O que é importante não muda, tua força e convicção não tem idade.  
Que o espírito seja como qualquer teia de aranha. Após de cada linha de chegada, há sempre uma de partida. Após de cada conquista, há um novo desafio. Enquanto estiver vivo, sinta-se vivo. Não deixe que oxide o ferro que existe em você. Quando não conseguir correr, trote. Quando não conseguir trotar, caminhe. Quando não conseguir caminhar, use bengala. Mas nunca se detenha.*

***Madre Teresa de Calcutá***

## RESUMO

As taxas de erosão química e mecânica são elementos essenciais no entendimento da evolução geomorfológica. A bacia do rio Corumbataí apresenta em sua composição litológica um predomínio de arenitos e argilitos. Em função disso o presente trabalho foi desenvolvido em duas sub-bacias com composição litológica predominantemente arenosa (Formações Botucatu e Pirambóia) e argilosa (Formação Corumbataí), ou seja, as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente. As taxas de erosão química foram determinadas pelo fluxo hidroquímico de cátions, ânions e sílica (águas fluviais), com a respectiva correção dos aportes atmosféricos e pela densidade das rochas. Foi obtido um valor de 1,53 m/Ma para arenitos e 0,83 m/Ma para argilitos. Os processos intempéricos responsáveis pela alteração das rochas em ambas as bacias foram determinados através do índice RE, o qual apontou que o intemperismo se insere na zona da monossilitização, com a formação de minerais 1:1, como a caulinita. Os processos intempéricos são responsáveis também pelo consumo de CO<sub>2</sub> na interface solo/atmosfera e os valores obtidos foram de 0,37 x10<sup>6</sup> mol/km<sup>2</sup>/ano e 0,45 x10<sup>6</sup> mol/km<sup>2</sup>/ano para arenitos e argilitos respectivamente. As taxas de erosão mecânica foram calculadas pelo fluxo específico dos sedimentos finos em suspensão e teve um valor obtido de 14,20 m/Ma para os arenitos e 11,66 m/Ma para os argilitos. A diferença das velocidades de alteração da rocha e remoção dos horizontes superficiais leva a um desequilíbrio de desnudação, sendo a componente perpendicular muito mais intensa que a componente paralela, em 12,7 m/Ma e 10,84 m/Ma em arenitos e argilitos. Levando em conta a teoria do equilíbrio dinâmico é possível dizer (baseado nos valores de erosão mecânica) que o rebaixamento da topografia não ocorre de maneira proporcional em arenitos e argilitos.

Palavras Chave – Intemperismo Químico, Erosão, Evolução Geomorfológica

## ABSTRACT

The chemical and mechanical erosion rates are essential elements in understanding the evolution geomorphological. Of these processes result in products that are the basis for the development of human activities, especially in the conditions of land use. In this work were evaluated chemical and mechanical erosion rates and their implications for geomorphological evolution of the Corumbataí river basin, São Paulo State, Brazil (SP). For this, two sub-basins were chosen sandy lithological composition (Botucatu and Pirambóia formations) and clay (Corumbataí Formation), ie the basins of the streams Monjolo Grande and Jacutinga, respectively. The chemical erosion rates It was determined by the specific hydrochemical flow of cations, anions and silica (river water), with the respective correction of atmospheric inputs and the density of the rocks obtained a value of 1.73 m / Ma to sandstones and 0.76 m / Ma to mudstones. The weathering processes responsible for the alteration of rocks in both basins tend to monosialitization with the formation of mineral 1: 1, as kaolinite. The weathering processes are also responsible for the consumption of CO<sub>2</sub> in the soil / atmosphere interface and the values obtained were 0.37 x 10<sup>6</sup> mol / km<sup>2</sup> / year and 0.45 x 10<sup>6</sup> mol / km<sup>2</sup> / year to sandstones and mudstones respectively. The mechanical erosion rates were calculated by the specific flow of silt in suspension and had obtained a value of 14,20m / Ma for sandstones and 11,66 m / mA for mudstones. The difference in the change speeds of rock and removal of surface horizons leads to denudation of imbalance, with a much stronger component perpendicular to the parallel component in 12,7 m / Ma and 10,84 m / Ma in sandstones and mudstones. Taking into account the theory of dynamic equilibrium is possible to say (based on mechanical erosion of values) that the lowering of the topography does not occur proportionally in sandstones and mudstones.

Key Words: Chemical weathering, Erosion, Geomorphologic Evolution

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 ÁREA DE ESTUDOS.....	6
3.1. Geologia.....	7
3.1.1. Grupo Passa Dois.....	9
3.1.2. Grupo São Bento.....	10
3.2. Geomorfologia.....	11
3.3. Pedologia.....	13
3.4. Aspectos Climáticos.....	14
3.5. Uso da terra.....	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1. Vazão e Hidroquímica.....	19
4.2. Composição química e mineralógica dos perfis de alteração.....	22
4.3. Densidade dos solos.....	22
4.4. Taxas de erosão química e mecânica.....	24
4.5. Processos intempéricos e consumo de CO <sub>2</sub> atmosférico/solo.....	27
4.6. Datação absoluta das áreas de deposição pelo método do chumbo-210.....	28
5 RESULTADOS.....	32
5.1. Águas Fluviais.....	31
5.2. Águas pluviais.....	39
5.3. Classificação das águas fluviais e pluviais.....	44
5.4. Caracterização mineralógica e química das rochas e seus perfis de intemperismo.....	47
5.5. Sedimentos de fundo na bacia do ribeirão Monjolo Grande.....	47
6 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE EROSIÃO QUÍMICA E MECÂNICA ENTRE ARENITOS E ARGILITOS NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ.....	50
6.1. Fluxos de elementos/compostos nas bacias hidrográficas estudadas.....	50
6.2. Taxa de erosão química nas bacias hidrográficas estudadas.....	54
6.3. Processos intempéricos atuantes e consumo de CO <sub>2</sub> nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga.....	56
6.4. Fluxos de Sólidos em Suspensão e Erosão Mecânica.....	60

6.5 Comparação das taxas de Erosão Química e Mecânica em arenitos e argilitos na bacia do rio Corumbataí .....	64
7 CONCLUSÕES.....	67
8 REFERÊNCIAS.....	70

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A determinação do balanço de denudação, o qual consiste na atuação conjunta do componente perpendicular, caracterizado pelo aumento do front de intemperismo das rochas, e do componente paralelo, caracterizado pela remoção do material superficial, é fundamental na geoquímica de superfície e de grande interesse na caracterização geomorfológica dos continentes. Este fenômeno aplica-se diretamente a estudos relacionados a várias disciplinas, dentre elas, a geologia, geografia, ecologia, economia, pedologia e agronomia, subsidiando parâmetros necessários a uma melhor orientação na distribuição das culturas, exploração e uso dos solos. O estudo do manto superficial e sua alteração indicam a viabilidade da ocupação humana e suas atividades, podendo ainda subsidiar ações de intervenções em problemas relacionados com a construção de barragens, rodovias, fundações, etc.

Por definição, os processos de intemperismo agem na interface entre a atmosfera e a litosfera e incluem os processos que levam à desagregação e decomposição das rochas expostas na superfície da Terra. O primeiro estágio na formação de solos é o ataque à rocha matriz. A alteração geoquímica atua em profundidade, atacando as rochas, facilitando a ação de agentes físicos e biológicos de desagregação e formando um amplo complexo de alteração. São originadas partículas minerais discretas (produtos residuais) presentes na rocha matriz, que permanecem mais ou menos inalteradas, ao lado de minerais neoformados, além de materiais em solução (SUGUIO, 2003). Este processo é principal mecanismo de remoção de CO<sub>2</sub> atmosférico, e, conseqüente, deposição de carbonatos de Ca e Mg (e menores quantidades de Fe e Mn) nos oceanos, e tem a função básica na moderação do clima terrestre MORTATTI, 1995, 2003; GAILLARDET et.al, 1997, 1999, 2003; ROY et.al, 1999; MILLOT et.al, 2002; DUPRÉ et.al, 2003; DESSERT et.al, 2003; RAD, et.al 2006; VIERS et.al, 2007. Os produtos do intemperismo, rocha alterada e solo, estão sujeitos a outros processos do ciclo supérgeno – erosão mecânica, transporte, sedimentação – os quais acabam levando à denudação continental, com o conseqüente aplainamento do relevo (TEIXEIRA, et al., 2000).

Mortatti (1995) define a erosão em uma bacia de drenagem como um fator geográfico de esculturação da paisagem e deve ser vista como um conjunto de fenômenos mecânicos e químicos sob influência direta do clima sobre os fatores geológicos e pedológicos. De acordo com Tardy (1986), a erosão química precede a

erosão mecânica e compreende a alteração química das rochas, que leva a perda de elementos através da lixiviação e concentração de outros elementos no perfil de alteração. Tal mecanismo é responsável direto pelo processo de formação dos solos. A erosão mecânica age principalmente na superfície, nivelando o relevo continental, transportando a matéria solúvel e em suspensão através dos rios para os oceanos. Segundo Probst (1992), o balanço de alteração química das rochas pode, para regiões sem interferência antrópica, ser quantificado pela diferença entre o transporte fluvial do material dissolvido e os aportes atmosféricos.

Na busca de conhecer e estudar o balanço entre o intemperismo químico e a erosão de solos em uma região faz-se necessário encontrar uma unidade básica, na qual todos os componentes da paisagem (atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera) interajam (BRAGA et al., 2002; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2002; MOLDAN & CERNÝ, 1994), adotando-se, assim, a bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. 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/ou energias presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados e relacionados entre si (CHRISTOFOLETTI, 1981; ANDREOZZI, 2005). Atualmente, estudos relacionados à erosão química e física em pequenas bacias hidrográficas monolitológicas permitem avaliar mais precisamente o balanço de denudação que em áreas com diferentes litologias, podendo está dinâmica química ser aplicada globalmente (MILLOT et al., 2002). Além disso, com as taxas de erosão mecânicas pode-se verificar se na área de estudo todos os elementos da topografia estão mutuamente ajustados de modo que eles se modificam na mesma proporção, como definido pela Teoria do Equilíbrio Dinâmico, proposta por John T. Hack (HACK, 1960).

O interesse na avaliação das taxas de erosão química e mecânica cresceu muito nos últimos anos, principalmente em bacias hidrográficas localizadas no hemisfério norte e África, através do uso do modelo PROFILE (SVERDRUP & WARFVINGE, 1993; LANGAN et al., 1996; HODSON et al., 1996; KOPTSIK et al., 1999) e modelos que utilizam a concentração de sódio, cálcio, potássio, magnésio e de sólidos totais dissolvidos, onde as entradas devido às águas pluviais requerem correções para se obter a fração dissolvida vinda das rochas (GIBBS, 1967; JOHNSON et al., 1968; TARDY, 1971; PACES, 1986; NKOUNKOU & PROBST, 1987; CLOW & DREVER, 1996; BOEGLIN & PROBST, 1998; LAND et al., 1999; GRASBY & HUTCHEON, 2000;

SEMHI et al., 2000; BAIN et al., 2001; PACHECO & WEIJDEN, 2002; WEIJDEN & PACHECO, 2006; VELBEL & PRICE, 2007; XU & LIU, 2010). No Brasil poucos estudos são relacionados à erosão química e mecânica (MOREIRA-NORDEMANN, 1980 e 1984; STALLARD & EDMOND, 1983; MORTATTI, 1995; MORTATTI & PROBST, 2003; MORTATTI et al., 2003; BORTOLETTO JUNIOR, 2004; CONCEIÇÃO & BONOTTO 2003, 2004; SILVA & SCHULTZ, 2007; BONOTTO et al., 2007; MORTATTI et al., 2008; SANTOS, 2009; SARDINHA et al., 2012, FERNANDES 2013; CONCEIÇÃO et al., 2015).

O estado de São Paulo possui distintas unidades Geomorfológicas, as quais foram divididas em Planície Litorânea, Planalto Atlântico, Depressão Periférica Paulista, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental (ALMEIDA, 1964). Posteriormente, Ross (1996) redefiniu estas unidades, reagrupando-as em três Províncias Geomorfológicas: Planalto e Serras do Atlântico leste e sudeste, Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná e Planaltos e chapadas da Bacia do Paraná (Figura 1.1). A Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná é composta por diferentes tipos de rochas formadoras da Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente por arenitos (formações Pirambóia e Botucatu) e argilitos (grupos Itararé, Tubarão e Passa Dois). Estes tipos de rochas afloram na bacia do Rio Corumbataí, permitindo estabelecer as taxas atuais de erosão química e física dos arenitos e argilitos nas condições climáticas atuais e, conseqüentemente, inferir sobre a evolução geomorfológica da desta bacia hidrográfica. Para isso, foram estudadas duas bacias hidrográficas localizadas na bacia do Rio Corumbataí, estado de São Paulo, sendo estas monolitológicas e representativas das principais rochas aflorantes na Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná, ou seja, arenitos (bacia do Ribeirão Monjolo Grande) e argilitos (bacia do Ribeirão Jacutinga).



Figura 1.1 – Divisão das Províncias Geomorfológicas no estado de São Paulo.

Fonte: modificado de Ross 1996.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar as taxas de erosão química e mecânica entre arenitos e argilitos e suas respectivas implicações na evolução geomorfológica da bacia do Rio Corumbataí (SP) e, conseqüentemente, na Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná. Para isso, foram escolhidas duas bacias hidrográficas com diferentes composições litológicas, ou seja, as bacias dos ribeirões Monjolo Grande (arenitos) e Jacutinga (argilitos). Além disso, os resultados possibilitaram a resposta de algumas questões, tais como:

- Qual a influencia das águas pluviais no fluxo anual de elementos/compostos?
- Quais são os principais processos de intemperismo químico que ocorrem nos arenitos e argilitos?
- Qual o consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o processo água-rocha/solo?
- Há interferência climática nas taxas de erosão química e mecânica, bem como no consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo?
- As taxas atuais de denudação podem ser comparadas com as taxas passadas nesta parte do Brasil?

Além disso, na bacia do Ribeirão Monjolo Grande há varias áreas onde com deposição de areia devido à mudança brusca de declividade deste ribeirão ao longo de seu curso, sendo nestas áreas implantadas minerações para exploração de areia para

construção civil. Com isso, para se tentar avaliar as taxas de deposição nestas áreas de deposição no Ribeirão Monjolo Grande, utilizou-se o método do chumbo-210.

### 3 ÁREA DE ESTUDOS

O presente estudo foi desenvolvido em duas áreas de estudos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, localizada na região centro leste do estado de São Paulo, mais precisamente nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga (Figura 3.1), com área de 28,8 e 28,9 Km<sup>2</sup>, respectivamente.

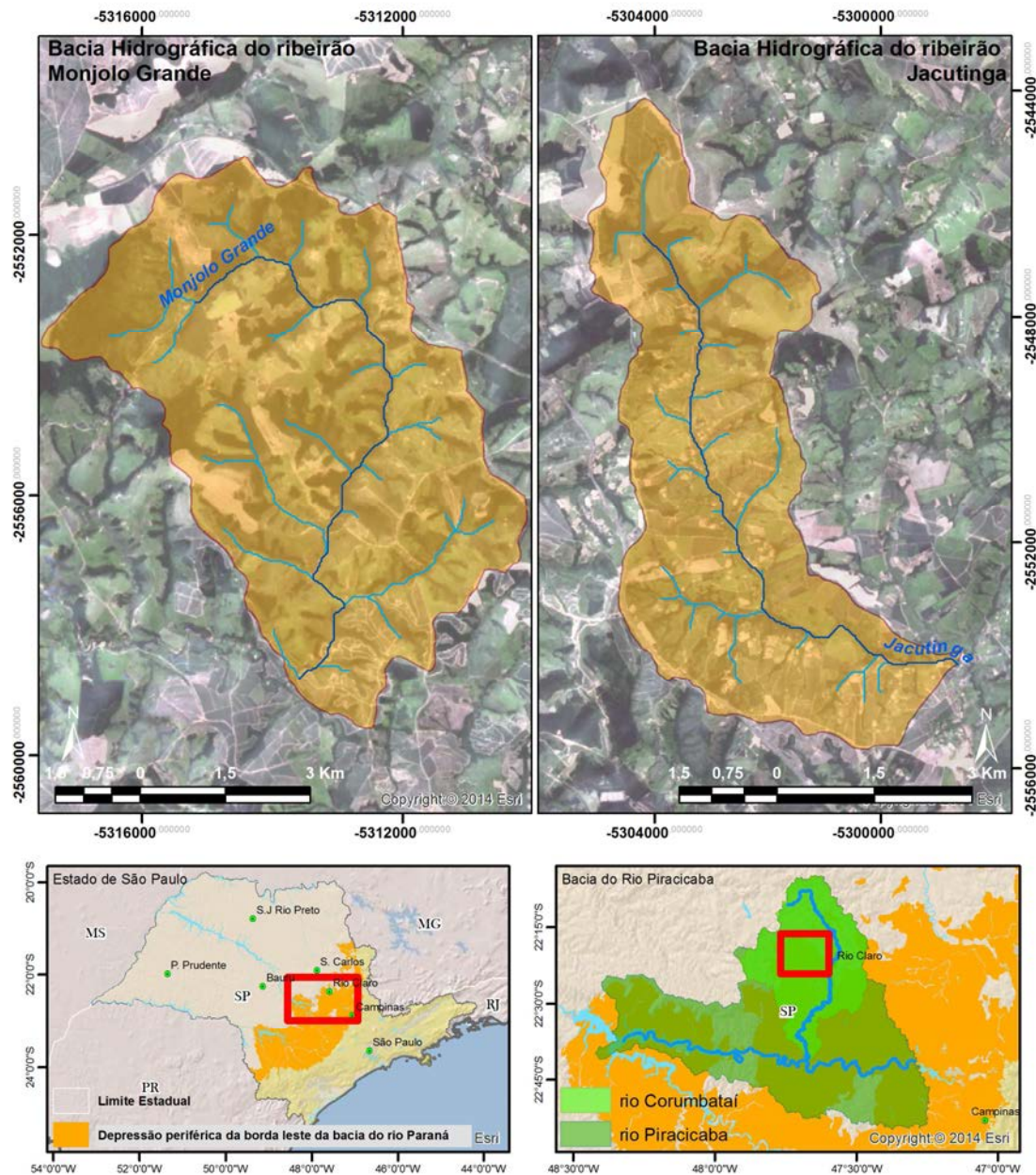


Figura 3.1 - Localização das bacias do Ribeirão Monjolo Grande e Ribeirão Jacutinga (b).

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1 Geologia

A geologia das áreas de estudo compreende rochas de idades variadas, desde o Paleozóico até o Cenozóico, pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, a qual é definida como uma bacia intracratônica desenvolvida sobre a plataforma Sul-Americana, abrangendo uma área no estado de São Paulo de aproximadamente 160.000 km<sup>2</sup> (ZAINÉ, 1994). A Coluna Estratigráfica desta bacia encontra-se na Figura 3.2.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ EM SÃO PAULO							
ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Média (Metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENO-ZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRES. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		MARÍLIA ADAMANTINA		50	ARENITOS COM MATRIZ ARGILOSA OU CIMENTO CALCÍFERO, SILTITOS	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE
MESOZOICA	CRETÁCEO	BAURUI	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO <i>(Basalto e diabásio = matéria-prima para brita - pavimentação e construção civil - na região de Rio Claro)</i>	MAGMATISMO FISSURAL
		SÃO BENTO	BOTUCATU PIRAMBÓIA		100 150	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRãos SEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA <i>Aqüífero Guarani</i>	CONTINENTAL DESÉRTICO CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
	JURÁSSICO		CORUMBATAI		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: LACUSTRE MISTO: PLANÍCIE DE MARÉ
	TRIÁSSICO		IRATI		40	SILTITOS, FOLHÉLHOS PROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS <i>(pedreiras de calcário na região de Assistência e Ipeima)</i>	MISTO: LAGUNA/PLATAFORMA
PALEOZOICA	PERMIANO	PASSA DOIS	PALERMO TATUI		50 (Tatui)	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	MISTO: PLANÍCIE COSTEIRA/PLATAFORMA
			RIO BONITO		20 (Pal+RB)	ARENITOS E SILTITOS COM INTERCALAÇÕES DE DELGADAS CAMADAS DE CARVÃO	CONTINENTAL: FLUVIAL / COSTEIRO MISTO: DELTAICO/MARINHO RASO
		TUBARÃO	ITARARÉ <i>(no Estado de São Paulo esta unidade é considerada Grupo ou Subgrupo)</i> AQUIDAUANA		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS) <i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)</i>	CONTINENTAL: GLACIAL FLUVIAL LACUSTRE MISTO MARINHO (GLACIO-MARINHO)
	CARBONIFERO						
	Pré-Cambriano		EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS	

Figura 3.2 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná.

Fonte: Modificado de Milani (1994).

Segundo Bortoletto Júnior (1999), a bacia do Rio Corumbataí apresenta sua composição litológica majoritariamente dividida entre arenitos e argilitos (Tabela 3.1). Na Tabela 3.2 são apresentadas as áreas relativas das unidades geológicas aflorantes nas

bacias do Ribeirão Monjolo Grande e Ribeirão Jacutinga. Os mapas com a distribuição das formações geológicas das bacias hidrográficas estudadas estão na Figura 3.3.

**Tabela 3.1** – Áreas relativas das formações geológicas de composição arenosa e argilosa na bacia do Rio Corumbataí.

<b>Formação Geológica</b>	<b>Grupo Mineral</b>	<b>Litologia</b>	<b>% Relativa de Área</b>
<b>Pirambóia</b>	Silicato	Arenitos	28
<b>Corumbataí</b>	Silicato	Argilito/Siltito	29,5
<b>Botucatu</b>	Silicato	Arenitos	11,6
<b>Rio Claro</b>	Silicato	Arenitos	7,1
<b>Total</b>			76,2

Fonte: Adaptado de Bortoletto Junior, (1999).

**Tabela 3.2** - Áreas relativas das formações geológicas de composição arenosa e argilosa nas bacias estudadas.

<b>Formação Geológica</b>	<b>Grupo Mineral</b>	<b>Litologia</b>	<b>% Relativa de Área</b>
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>			
Pirambóia	Silicato	Arenitos	68,55
Corumbataí	Silicato	Argilito/Siltito	27,7
Botucatu	Silicato	Arenitos	2,55
<b>Ribeirão Jacutinga</b>			
Formação Geológica	Grupo Mineral	Litologia	% Relativa de Área
Fm. Pirambóia	Silicato	Arenitos	36,8
Formação Corumbataí	Silicato + Carbonato	Argilito/Siltito	60,8
Formação Botucatu	Silicato	Arenitos	2,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

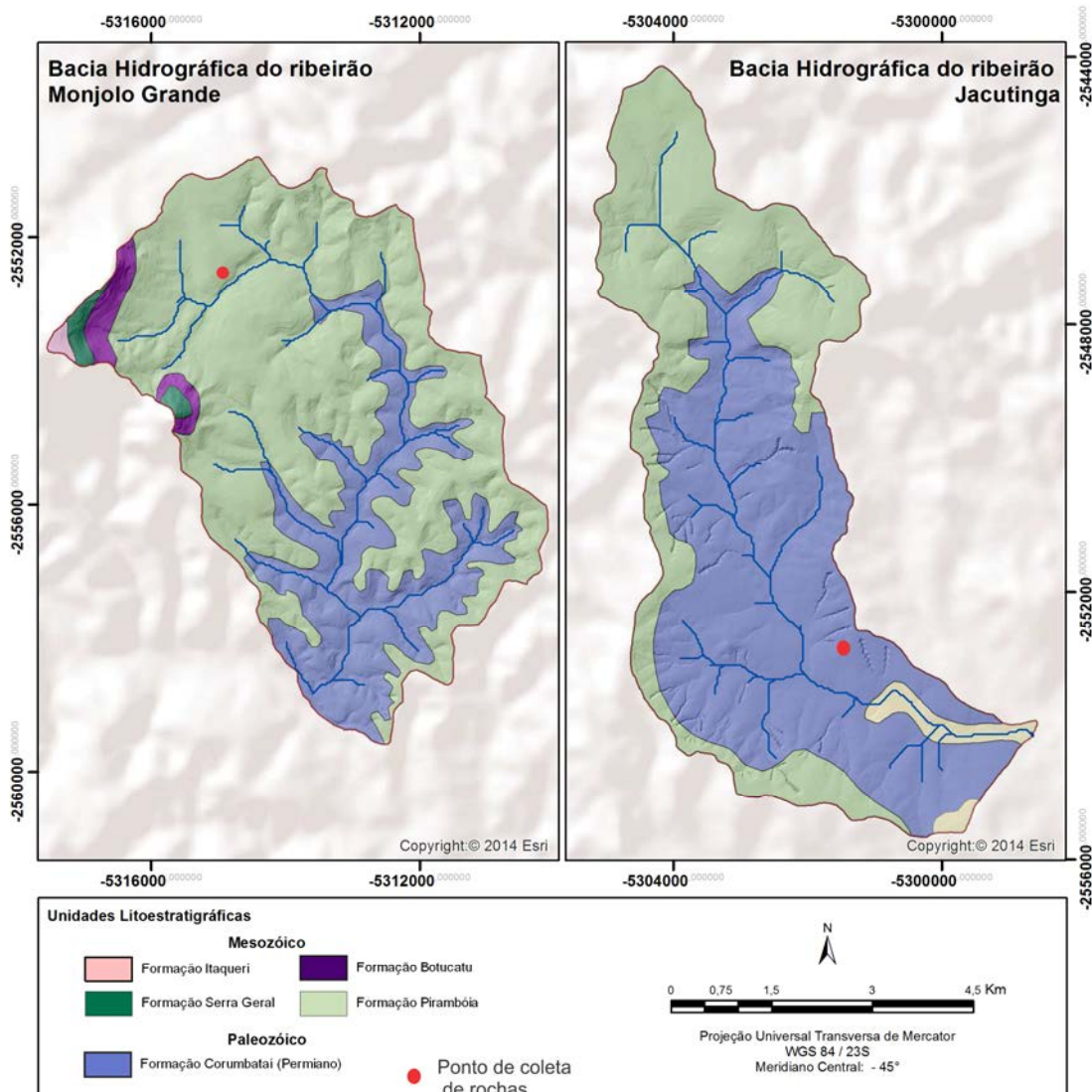


Figura 3.3 - Mapa geológico da bacia dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, com destaque para o ponto de coleta de amostras de rochas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.1 Grupo Passa Dois

A Formação Corumbataí pertence ao Grupo Passa Dois e aflora por quase todo o vale do Rio Corumbataí. Segundo Zaine (1994), esta formação é constituída por argilitos, siltitos e folhelos arroxeados e marrom avermelhados, podendo apresentar por vezes coloração esverdeada. O ambiente desta formação é controvertido, porém Schneider *et al* (1974) consideram a parte inferior da formação como tendo sido

depositado em ambiente marinho de águas rasas em condições climáticas redutoras, sendo sua porção superior depositada em águas rasas em condições oxidantes sob influência de marés. Gama Jr (1979), aponta que suas características faciológicas indicam ambiente deposicional associado a planícies de maré, interpondo-se depósitos de "off shore". A Formação Corumbataí destaca-se como fornecedora de matéria prima para as indústrias pertencentes ao Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, a Formação Corumbataí ocorre ao longo do canal principal, com maior expressão próximo a sua foz, junto ao Rio Passa Cinco. Já na bacia do Ribeirão Jacutinga, a Formação Corumbataí apresenta grande expressão regional, sendo o substrato rochoso de quase toda a bacia hidrográfica em questão, excetuando seu alto curso.

### **3.1.2 Grupo São Bento**

Dentro da área de estudo ocorrem rochas de todo o Grupo São Bento, o qual compõe a sequência de idade Triássico-Cretácica, representadas pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. Rochas marcadas por ambiente de sedimentação continental, marcada por um clima árido a semi-árido e encerrada por extenso vulcanismo basáltico (Zaine 1994).

A Formação Pirambóia distribui-se por praticamente toda a bacia do Ribeirão Monjolo Grande, notadamente em seu médio e alto curso. Na bacia do Ribeirão Jacutinga, há presença desta litologia nas áreas de cabeceira, ao norte da área de estudos. Ela é caracterizada por arenito de granulação fina a média com coloração esbranquiçada, podendo variar também em matrizes de vermelho e amarelo, tendo estruturas sedimentares com estratificação cruzada de grande e médio porte como elementos característicos desta formação (Zaine, 1994). Há intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos. Soares (1973) admite um ambiente de sedimentação em sistemas fluviais, podendo apresentar por vezes influencia eólica.

A Formação Botucatu consiste num pacote de arenitos de coloração avermelhada, de granulometria fina a média. Zaine (1994) elenca como característica fundamental desta unidade a presença constante de estratificação cruzada em grandes cunhas, registro de deposição eólica em ambiente desértico. Ocorre na área de estudos exclusivamente na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, na sua porção norte, relacionados à presença de morros testemunhos do relevo das Cuestas Basálticas.

Petrograficamente, a Formação Serra Geral apresenta toda uma completa suíte de tipos litológicos, desde basaltos até rochas ácidas do extremo riolítico. Tal associação corresponde a um vulcanismo do Período Mesozóico de bacia intracratônica (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Também se restringem à área de estudo relacionada à bacia do Ribeirão Monjolo Grande, compreendendo uma sequência de rochas vulcânicas compostas por lavas basálticas de coloração cinza a preta (Zaine, 1994).

Zaine define a Formação Itaqueri como uma alternância de bancos de arenito (por vezes silicificado) com crostas ferruginosas, lamitos e conglomerados. Segundo Facincani (2000), a distribuição desta unidade estratigráfica ocorre de forma isolada no centro leste do Estado de São Paulo, predominantemente no topo das serras de São Pedro e Itaqueri. No entanto, no interior da bacia do Ribeirão Monjolo Grande, apresenta-se pontualmente no topo do morro residual de relevo tabular (Morro do Bizigueli).

### **3.2 Geomorfologia**

As bacias hidrográficas estudadas estão inseridas na Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná, a qual, de acordo com Almeida (1964), constitui uma área sensivelmente rebaixada pela erosão. Tal província geomorfológica está inserida entre as terras altas dos Planaltos e serras do Atlântico leste e sudeste e as cristas elevadas das Cuestas Basálticas, a qual marca o limite da unidade dos Planaltos e chapadas da Bacia do Paraná (Figura 3.4).

Almeida (1964) divide a Depressão Periférica em três unidades distintas, a saber, a Zona do Mogi-Guaçu, a Zona do Paranapanema e a Zona do Médio Tietê, dentro da qual se insere a área de estudos. A Zona do Médio Tietê constitui uma paisagem marcada por vertentes suavemente onduladas com altitudes variáveis entre 650 a 550 m. Entretanto, na alta bacia do Ribeirão Monjolo Grande, pequenos morros residuais podem ser encontrados, com altitudes de cerca de 900 m, em concordância com o relevo das Cuestas Basálticas, que consistem em relevos originados das bordas dos derrames basálticos, apresentando relevos elevados e muito festados (ALMEIDA, 1964). O contraste altimétrico entre as duas bacias pode ser observado através da comparação de seus mapas de elevação digital de terreno (Figura 3.5).

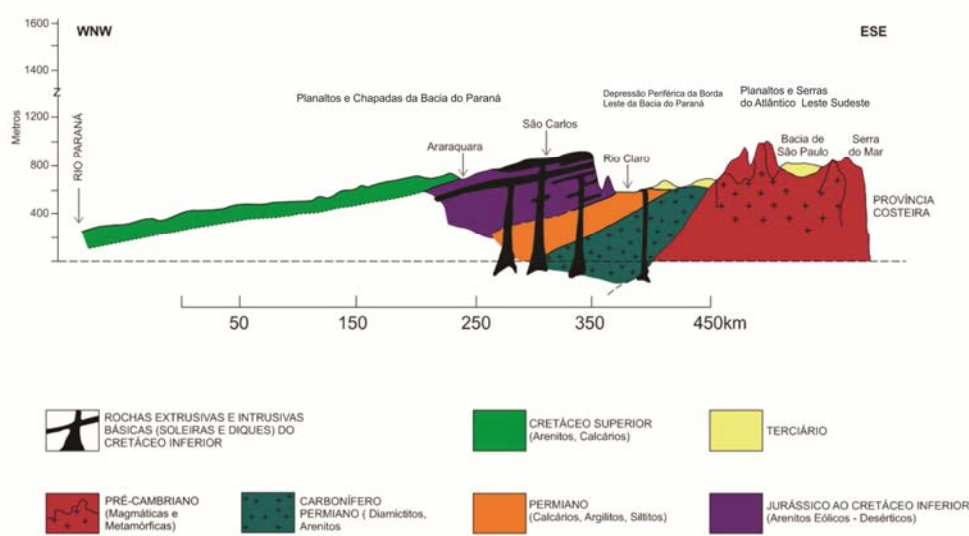


Figura 3.4 - Perfil geológico-geomorfológico do estado de São Paulo.

Fonte: Modificado de IPT (1981).

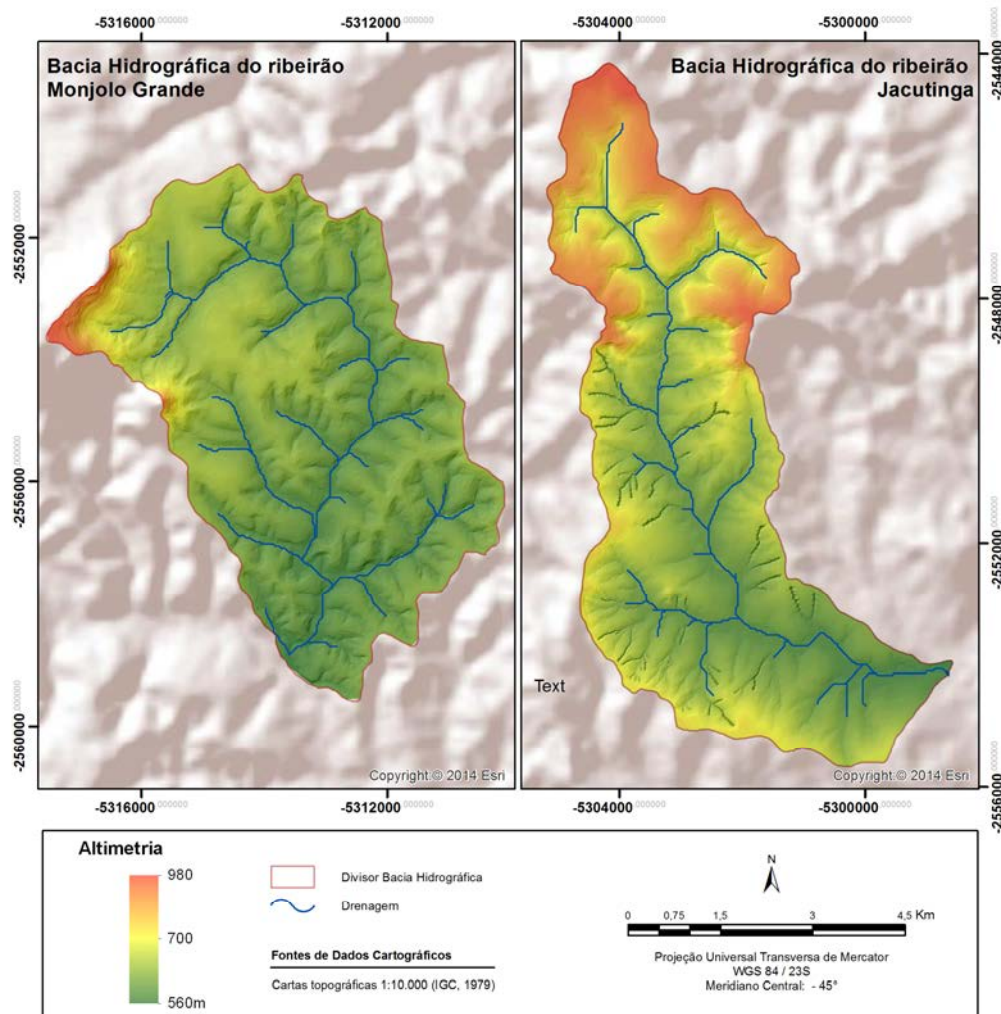


Figura 3.5 – Mapa digital de elevação do terreno das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3 Pedologia

Os solos que recobrem as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga estão indicados na Figura 3.6.

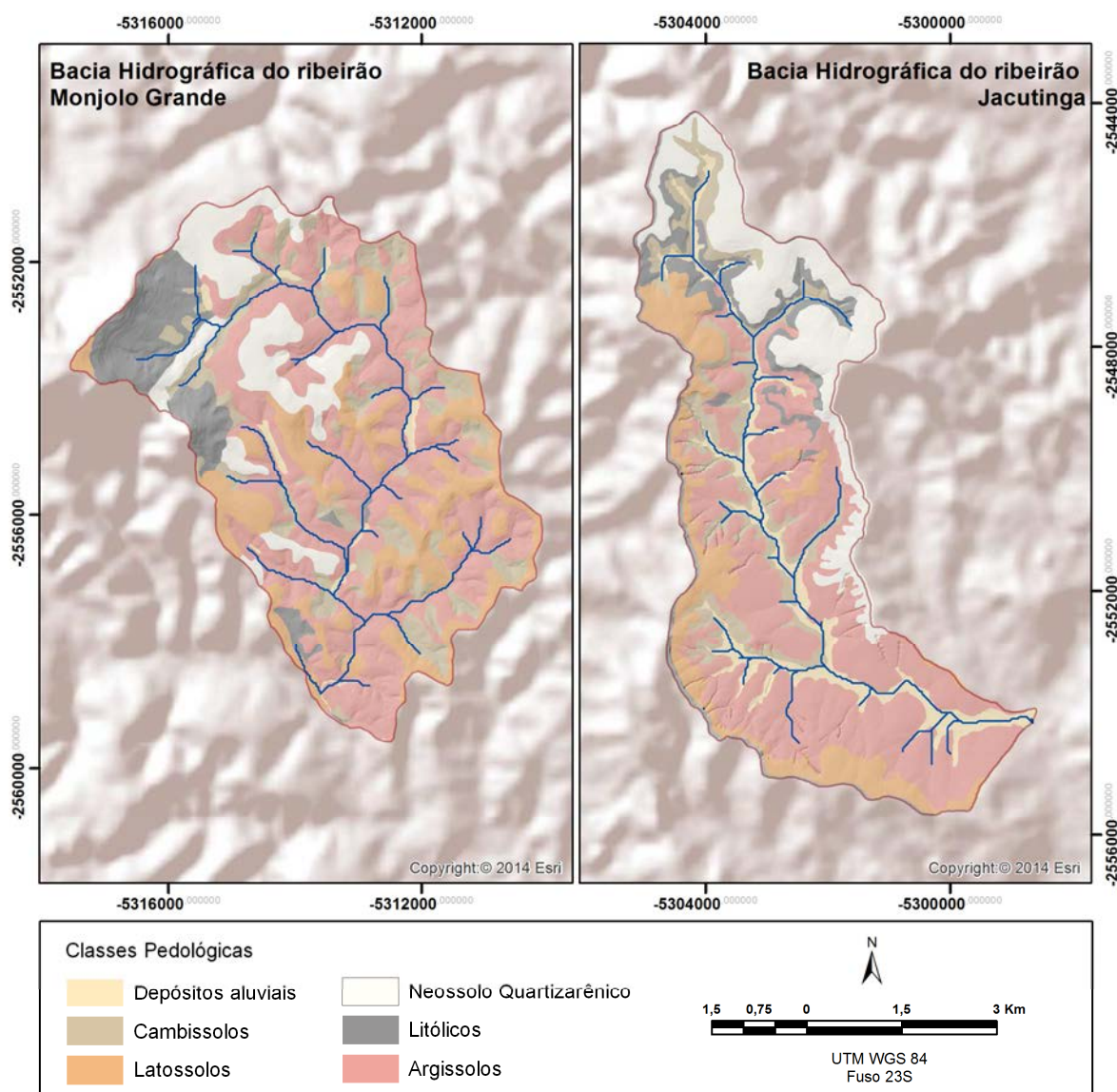


Figura 3.6 - Mapa Pedológico das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, Prado & Oliveira (1981) indicaram à ocorrência principalmente de Latossolo Vermelho, Neossolos Quartzarênicos profundos associados à Latossolo Vermelho Amarelo, tendo como material de origem as

Formações Botucatu e Pirambóia. Na transição com o relevo das Cuestas Basálticas há a presença de Neossolos Litólicos relacionados às Formações Serra Geral e Botucatu. Em tradagens realizadas em diversos setores da bacia do Ribeirão Monjolo Grande, com o intuito de realizar um levantamento mais preciso das classes de solo presentes nesta área, estabeleceram-se as seguintes classes de solo: Argissolo, Cambissolo, Latossolo, Neossolo Litólico, Neossolo Flúvico e áreas de Deposição e Neossolo Quartzarênico.

Na bacia do Ribeirão Jacutinga predominam os Argissolo Vermelho Amarelo associados em grande parte à presença das argilas da Formação Corumbataí (PRADO & OLIVEIRA, 1981). Ao norte desta bacia, há a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos associados diretamente à Formação Pirambóia. Apesar da definição destes autores, foi realizada na bacia do Ribeirão Jacutinga, um refinamento pedológico a fim de dar mais precisão à classificação de seus solos, da mesma maneira que realizado para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande. Foram delimitadas as mesmas classes de solo descritas para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

### **3.4 Aspectos Climáticos**

O clima da região é do tipo Aw (classificação de Köppen), tropical chuvoso, com chuvas no verão e inverno seco (INÁCIO & SANTOS, 1988). A temperatura média mensal em quase todos os meses do ano é superior a 18° C, sendo que o mês mais quente ultrapassa os 22° C. Quanto à distribuição anual de chuvas, a região possui duas estações bem definidas: de abril a setembro, ocorre o período seco e, de outubro a março, ocorre o período úmido. Zavatini e Cano (1993), ao estudarem as variações do ritmo pluvial da bacia do Rio Corumbataí, verificaram que em "anos padrão" chuvosos os índices pluviométricos da área ultrapassam os 2000 mm, ao passo que em "anos padrão" secos, a pluviosidade gira em torno de 1000 mm, possuindo assim uma pluviosidade média de cerca de 1500 mm anuais. Nas bacias hidrográficas estudadas, a variação pluviométrica é semelhante, conforme mostram as Figuras 3.7 e 3.8, as quais foram baseadas em séries históricas. A bacia do Ribeirão Jacutinga tem precipitação média anual de 1490 mm entre os anos de 1994 a 2012, de acordo com os dados da estação meteorológica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA/UNESP). Já para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande, a precipitação média anual foi de 1475 mm entre 1970 e 2004 (DAEE, posto prefixo D4-074).

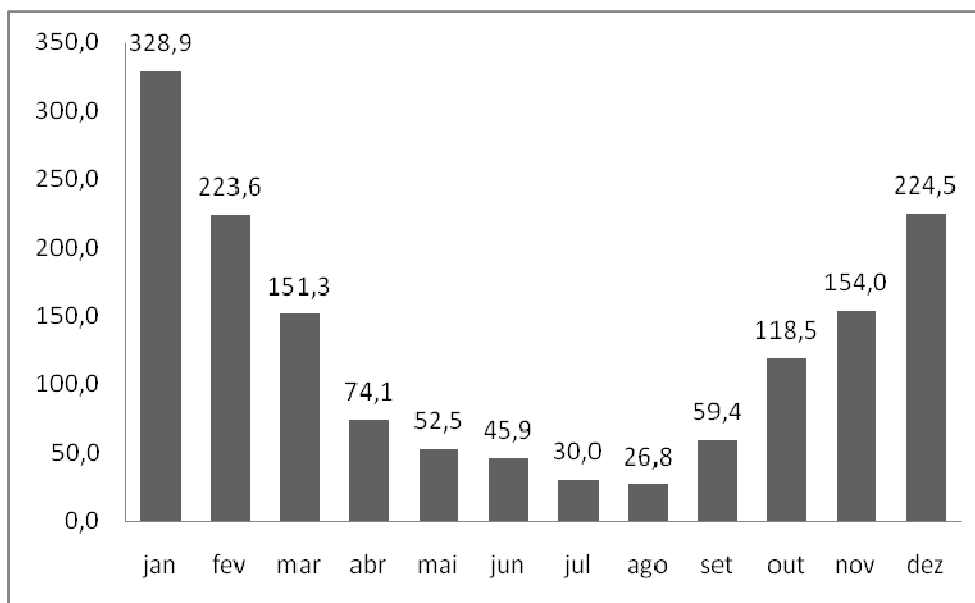


Figura 3.7– Precipitação média mensal (mm) para a bacia do Ribeirão Jacutinga entre os anos de 1994 a 2012.

Fonte: Centro de Análise e Planejamento Ambiental, IGCE/UNESP.

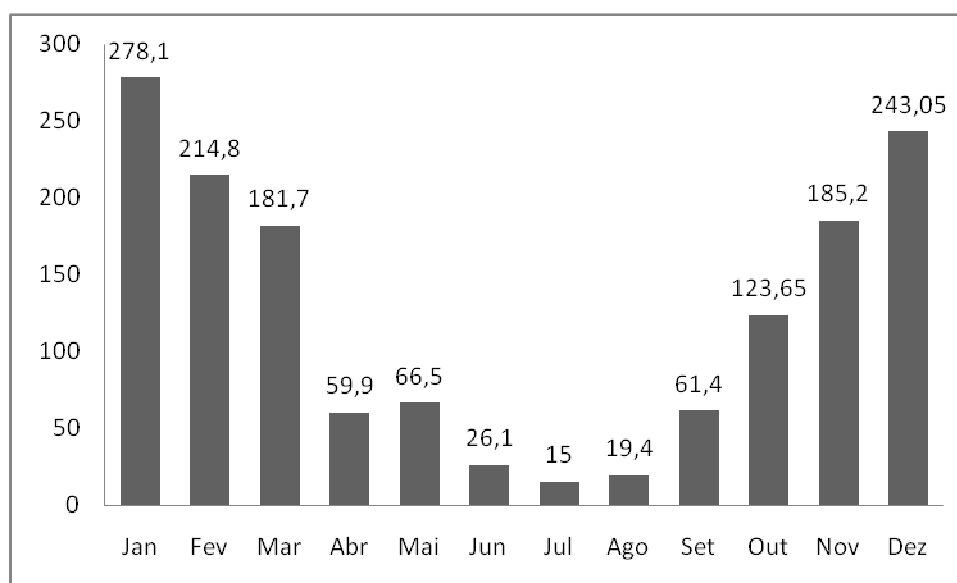


Figura 3.8 – Precipitação média mensal (mm) para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande entre os anos de 1970 e 2004.

Fonte: Posto DAEE: prefixo D4-074.

### 3.5 Uso da terra

Em termos de cobertura vegetal, a mata tropical latifoliada serviu como cobertura original dos espigões predominando a mata de galeria ao longo dos cursos d'água, onde ainda se faz presente em alguns locais. Atribui-se num primeiro momento o desaparecimento da mata à implantação da cafeicultura e instalação de numerosas serrarias no século XIX. Posteriormente, com o objetivo de suprir as necessidades das olarias e máquinas a vapor, a vegetação natural cedeu lugar à silvicultura e às pastagens (BONOTTO & MANCINI, 1992). Após a intervenção antrópica a paisagem atual da região é definida por extensas áreas destinadas à pecuária extensiva e pelo cultivo de cana de açúcar (Figura 3.9).

No Ribeirão Monjolo Grande, 64% da bacia encontra entre os intervalos de declividade entre 13 e 45% (Tabela 3.3), caracterizando um relevo ondulado a fortemente ondulado, segundo EMBRAPA (1999), com limitação agrícola forte a muito forte (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995). Nestas áreas ocorre a maior parte das áreas de mata, associadas às nascentes dos canais de primeira ordem, e as áreas de pastagem. Apesar da limitação agrícola, 55% das glebas de cana-de-açúcar plantadas na bacia do Ribeirão Monjolo Grande concentram-se neste intervalo, concentradas na porção sul, central e noroeste. Associadas a este intervalo também se encontram as maiores áreas de solo exposto, causadas principalmente pela entressafra de cana-de-açúcar e pastagens degradadas e prejudicadas pela ação de processos erosivos. As áreas de silvicultura destinadas para a produção de lenha encontram-se na porção norte bacia, em área de relevo suave ondulado e Neossolos Quartzarênicos.

Na bacia do Ribeirão Jacutinga, 82% da topografia encontra-se abaixo de 20% de declividade, sendo que 55% de toda a bacia estão no intervalo entre 3% e 13% de declividade (Tabela 34). Neste intervalo predominam as áreas destinadas à pecuária extensiva, a qual é também a principal atividade desta bacia (55%). Diferente da bacia do Ribeirão Monjolo Grande, o plantio de cana-de-açúcar concentra-se neste intervalo de classes (66%), nas porções sul e central dessa bacia. As áreas de mata ocorrem em menor número dentro deste intervalo de classes de declividade, ocorrendo próximas aos canais de drenagem. As áreas com vegetação natural ocorrem principalmente na porção norte da bacia, no alto curso do Ribeirão Jacutinga. Também na parte norte da bacia concentra-se a plantação de eucaliptos, ocupando uma gleba contínua de 97 ha.

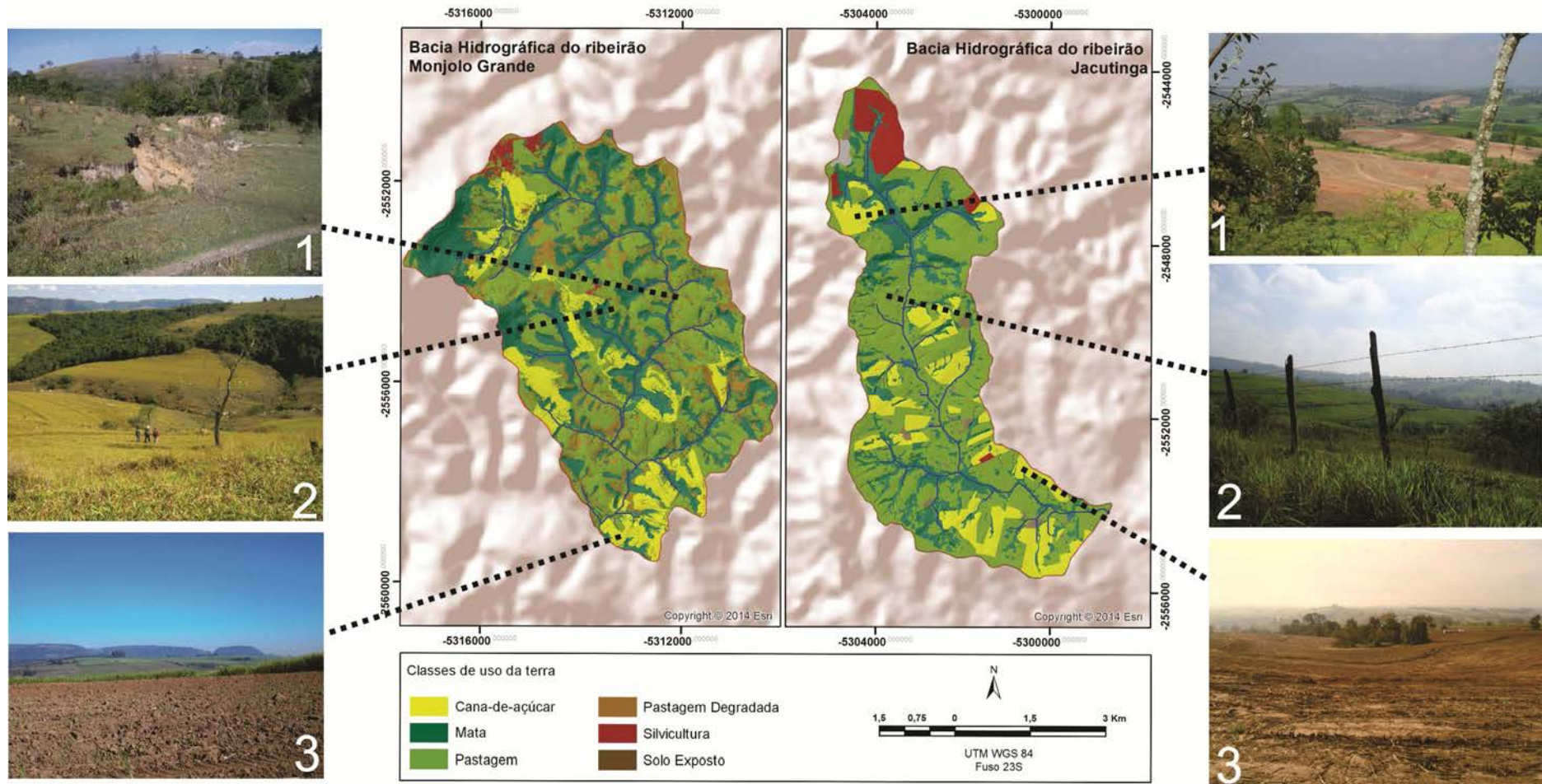


Figura 3.9 – Uso da terra nas bacias dos Ribeirões Monjolo Grande: (1 - Pastagem degradada associada a processos erosivos; 2 – Pastagens e mata ciliar preservada em canais de primeira ordem; 3 - Solo exposto preparado para plantio de cana-de-açúcar); e Jacutinga (1 - Terreno preparado para plantio de cana de açúcar; 2 - Pastagem associada a processos erosivos; 3 - Área com solo exposto devido à colheita de cana de açúcar). Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3.3 – Classes de uso da terra associadas aos intervalos de declividade na bacia do  
Ribeirão Monjolo Grande.

Fonte: Elaborada pelo autor

Classes de Uso	Relevo							Área (ha)	%
	P	SO	O	FO	M	E			
	0-3%	3 - 8%	8 - 13%	13 - 20%	20 - 45%	45 - 100%	> 100%		
<b>Cana-de- açúcar</b>	27,07	35,74	82,64	98,44	97,73	0,00	0,00	11,83	
<b>Mata</b>	95,67	24,33	84,94	218,51	461,39	98,94	2,29	34,15	
<b>Pastagem</b>	115,26	105,58	252,32	399,79	461,53	40,48	1,41	47,67	
<b>Silvicultura</b>	5,50	14,03	8,00	2,74	1,21	0,00	0,00	1,09	
<b>Solo Exposto</b>	12,07	9,22	22,22	43,24	58,84	5,98	0,06	5,25	
<b>Total</b>	255,57	188,89	450,13	762,73	1080,70	145,40	3,76	100,00	

P – Plano SO – Suave ondulado O – Ondulado FO – Fortemente ondulado M –  
Montanhoso E - Escarpado

Tabela 3.4 - Classes de uso da terra associadas aos intervalos de declividade na bacia do  
Ribeirão Jacutinga.

Fonte: Elaborada pelo autor

Classes de Uso	Relevo							Área (ha)	%
	P	SO	O	FO	M	E			
	0-3%	3 - 8%	8 - 13%	13 - 20%	20 - 45%	45 - 100%	> 100%		
<b>Cana-de- açúcar</b>	36,32	162,50	154,37	82,81	37,17	0,00	0,00	16,34	
<b>Mata</b>	42,89	121,54	135,47	146,24	164,92	40,73	10,88	22,89	
<b>Pastagem</b>	132,41	478,43	430,46	323,11	177,45	22,81	12,57	54,47	
<b>Silvicultura</b>	10,53	43,09	44,82	20,92	4,78	0,00	0,00	4,29	
<b>Solo Exposto</b>	0,57	5,47	4,18	6,95	6,28	0,12	0,00	0,81	
<b>Total</b>	198,96	785,87	794,63	612,15	409,60	70,63	23,73	100,00	

P – Plano SO – Suave ondulado O – Ondulado FO – Fortemente ondulado M –  
Montanhoso E - Escarpado

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo visa descrever os materiais e métodos necessários para a realização dos objetivos estipulados.

### 4.1 Vazão e hidroquímica

A fim de quantificar a erosão química e física nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, foram realizadas coletas e análises periódicas durante um ano hidrológico das águas fluviais e pluviais. As águas fluviais foram coletadas mensalmente diretamente nos rios e armazenadas em frascos de polietileno previamente lavados com água deionizada e conservadas em geladeira até sua análise. A vazão no dia de amostragem foi estimada de acordo com o método do flutuador (Equação 4.1).

$$Q = \frac{A.D.C}{T} \quad (4.1)$$

Onde:

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$A$  = área da seção do rio (m<sup>2</sup>);

$D$  = distância para estimar a velocidade do rio (m);

$C$  = coeficiente de correção empírico (0,9);

$T$  = tempo de um objeto flutuador percorrer uma distância  $D$  (s).

As águas pluviais foram coletadas nos mesmos locais de coleta das águas fluviais. Para isso, foi utilizado um coletor de polietileno de 30 x 40 cm, coberto com uma tela protetora permeável para a proteção contra a entrada de pequenos animais ou mesmo a queda de folhas. Os coletores foram colocados em lugares abertos e isolados, de modo a evitar a coleta de deposição seca excessiva, encontrada próximo a estradas, por exemplo. A coleta das águas pluviais foi realizada após os episódios de chuva. Após a coleta todo o sistema foi desmontado, lavado com água deionizada e montado novamente. Os métodos de coleta e de preservação das amostras são muito importantes e seguiram os dispositivos de amostragem descritos no “Guia Técnico de Coleta e Preservação de Amostras de água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos” (CETESB & ANA, 2011).

Os parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (Temp. - °C), condutividade elétrica (Cond. -  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) e oxigênio dissolvido (OD -  $\text{mg L}^{-1}$ ) foram caracterizados utilizando-se uma sonda multiparamétrica YSI 556, com leitura direta no próprio local de amostragem (figura 4.1(2 e 4)). 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 concentração de sólidos totais em suspensão (TSS) foi medida através do uso do Espectrofotômetro DR 2800 da *Hack Company*, em amostras não filtradas (Método Fotométrico de 5 a 750 mg/L). Já a concentração de sólidos totais dissolvidos foi obtida pela soma de cátions + ânions + sílica.

As amostras de águas fluviais e pluviais coletadas foram filtradas com filtro de 45  $\mu\text{m}$  acoplado a bomba de vácuo e, posteriormente, armazenadas em vasilhames de polietileno para quantificação dos teores de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ . Cloreto (diluição feita a partir solução padrão de Cloreto de Potássio 3 M) e fluoreto (diluição feita a partir de solução de solução padrão de fluoreto de  $100 \pm 1 \text{ mg/L}$ ) foram analisados pelo método potenciométrico com a utilização de eletrodos acoplados a um medidor de íons seletivo Orion 710 A+. Os teores de sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário, de 2 a  $70 \pm 0,9 \text{ mg/L}$ ), fosfato (método do ácido ascórbico, de  $0,02$  a  $2,5 \pm 0,01 \text{ mg/L}$ ) e nitrato (método de redução de cádmio, de 0,1 a  $10 \pm 0,3 \text{ mg/L}$ ) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 2800 da Hach Company (HACH, 1992). A alcalinidade foi obtida por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N (HACH, 1992) com concentração entre 1 e  $500 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ .

Para a quantificação da concentração dissolvida de Na, K, Ca, Mg e  $\text{SiO}_2$ , as amostras de águas superficiais foram filtradas com filtro de 45  $\mu\text{m}$  e acidificadas com  $\text{HNO}_3$  destilado na proporção de 2% ( $\text{pH} < 2$ ). As frações dissolvidas foram quantificadas por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES), no Laboratório de Geoquímica (LABOGEO) do IGCE, com os seguintes limites de detecção: Ca - 0,05 mg/L, Na e K - 0,02 mg/L, Mg - 0,01 mg/L,  $\text{SiO}_2$  - 0,02 mg/L.

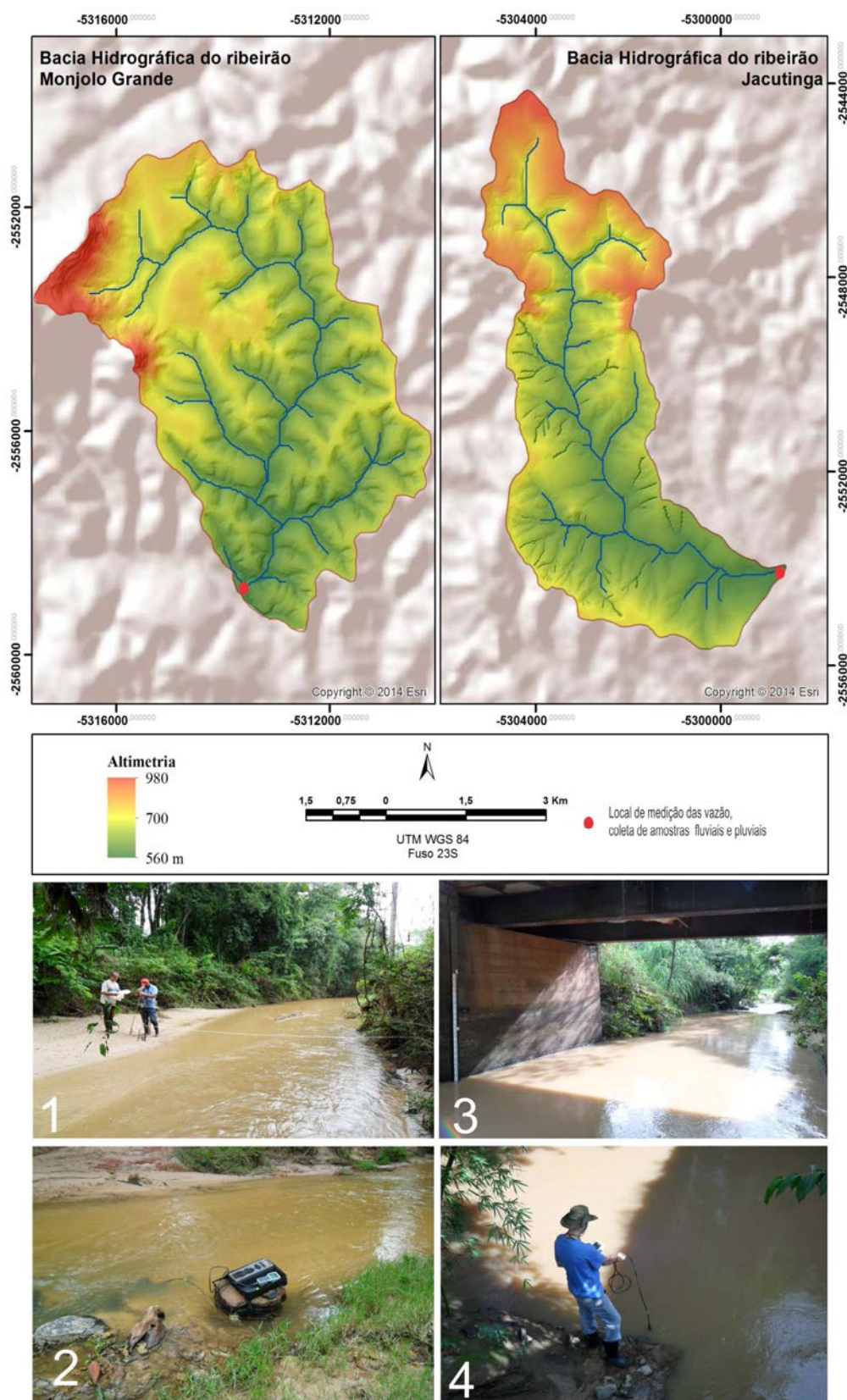


Figura 4.1 – Mapa de localização de amostras de águas fluviais e pluviiais nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga 1 - medição de vazão; 2 - medição dos parâmetros físicos e químicos. Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2 Composição química e mineralógica dos perfis de alteração

Os pontos de coleta de amostras de rochas frescas e seus respectivos perfis de intemperismo encontram-se na Figura 4.2. Coletaram-se amostras de arenitos e argilitos nas bacias ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente, bem como rocha alterada, horizonte C e Horizontes superficiais B e A. As amostras foram moídas em moinho oscilante e analisadas por Fluorescência de Raios X no Laboratório de Geoquímica (LABOGEO) do IGCE/UNESP para a determinação dos elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Todos os detalhes sobre o controle de qualidade (acurácia e precisão) e limites de detecção são apresentados em Nardy et al. (1997). A identificação mineralógica de cada amostra foi realizada por difração de raios X (XRD – Siemens D5000) em amostras sólidas pulverizadas, usando um difratômetro operando em 40 kV e 40 mA, com radiação  $\text{CuK}\alpha$ .

## 4.3 Densidade dos solos

A densidade dos solos nas bacias hidrográficas estudadas foi calculada pelo método da escavação (BLAKE & HARTGE, 1986), descrito por Stürmer (2008) (Figura 4.3). Esse método consiste na escavação de um buraco de 15 cm de diâmetro por 15 cm de profundidade no horizonte A do solo. O material, de onde o material é retirado, é embalado e pesado em campo. Uma amostra representativa deste material foi encaminhada para secagem em estufa a  $105^\circ\text{C}$  no LAGEA (Laboratório de Geoquímica Ambiental) do IGCE para a determinação da umidade.

A determinação do volume do solo foi realizada com um picnômetro de areia. A areia foi uniformizada com peneira de  $60\ \mu\text{m}$ . Após esta padronização, sua densidade foi calculada em laboratório utilizando-se uma balança de precisão e um béquer de volume conhecido ( $80\ \text{cm}^3$ ), obtendo-se uma densidade de  $1,7\ \text{g/cm}^3$ . A areia foi despejada dentro da escavação a uma altura de aproximadamente 15 cm. Determinou-se a massa de areia presente no picnômetro antes e depois do preenchimento do buraco. Assim, obteve-se a massa de areia gasta para preencher o volume de solo escavado. Conhecendo-se a densidade da areia, calcula-se o volume de material retirado.

Com os dados de massa e volume, obtido com o picnômetro, é feita a determinação da densidade do sistema.

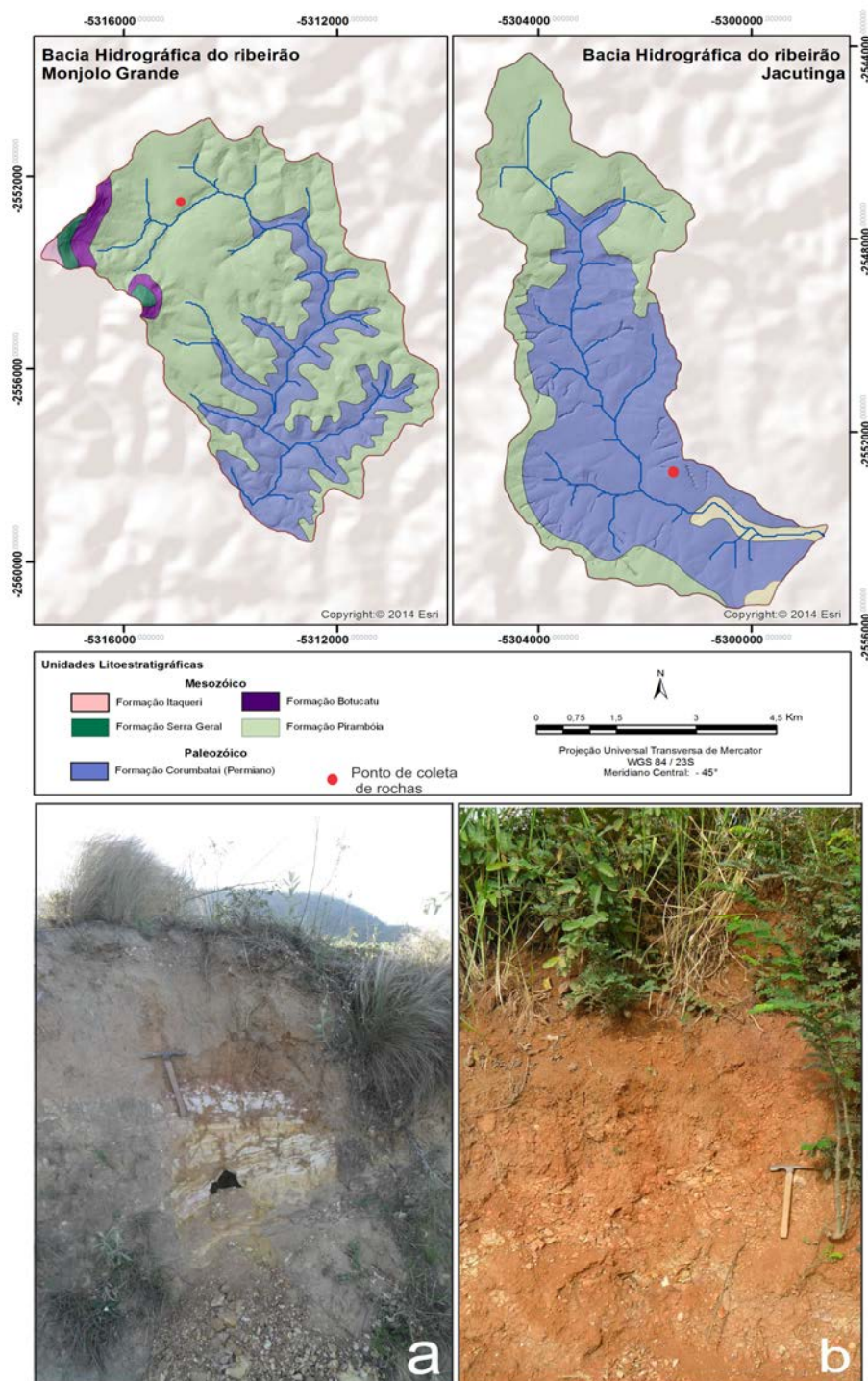
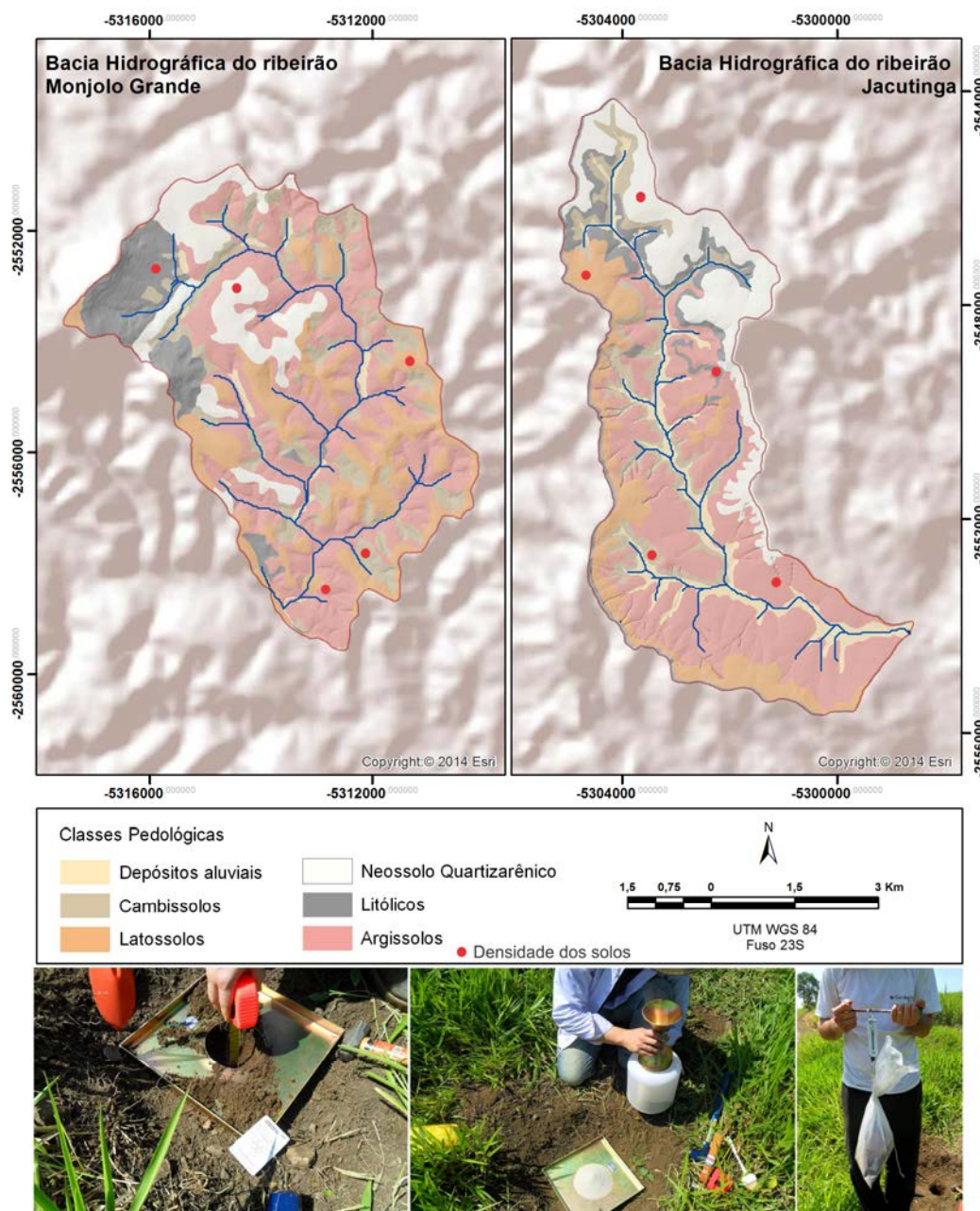


Figura 4.2 – Mapa geológico com pontos de coleta de amostras dos perfis de intemperismo da Formação Pirambóia (a) no Ribeirão Monjolo Grande e da Formação Corumbataí (b) no Ribeirão Jacutinga. Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.3 – Mapa pedológico com pontos de coleta de amostras e realização da densidade dos solos nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga. Escavação; Preenchimento do buraco com areia; pesagem de material pedológico escavado em campo.

Fonte: Elaborado pelo autor



#### 4.4 Taxas erosão química e mecânica

Garrels & MacKenzie (1967) modelaram a abundância e proporção relativa de íons dissolvidos em águas superficiais usando um balanço de massa. Contudo, a entrada de elementos e/ou componentes leva a uma importante correção para se obter a fração vinda da dissolução das rochas. Assim, White & Blum (1995) sumarizaram a dinâmica química de um rio usando a técnica de balanço de massa:

$$F_W = F_{rio} - F_{chuva} \pm F_{troca\ iônica} \pm F_{bio} - F_{antrópico} \quad (4.2)$$

Onde:

$F_W$  = fluxo anual de um elemento dissolvido nas águas dos rios oriundos da erosão química (kg/ano);

$F_{rio}$  = fluxo quantificado de um elemento dissolvido no rio (kg/ano);

$F_{chuva}$  = fluxo quantificado de um elemento devido às entradas atmosféricas (kg/ano);

$F_{troca\ iônica}$  = elemento fixado ou liberado a partir de trocas iônicas em argilo minerais (kg/ano);

$F_{bio}$  = elemento fixado ou liberado devido a mudanças na biomassa (kg/ano)

$F_{antrópico}$  = fluxo quantificado de um elemento devido às entradas antrópicas (kg/ano).

Por se tratar de uma área com vegetação já estabelecida, e não em estado de sucessão vegetal não há nem perda nem ganho de biomassa, assim, os sólidos dissolvidos acrescentados ou retirados por biomassa não entram na equação. Para este trabalho, admite-se que os elementos dissolvidos tem origem nos processos de intemperismo químico das rochas e das entradas atmosféricas, assim não é levada em conta a acreção de elementos dissolvidos através da troca catiônica em argilominerais. Pelo fato das duas bacias estarem em área rural, não há atividades industriais nem lançamento de esgoto nas águas fluviais, dessa forma Equação 4.2 pode ser sumarizada da seguinte forma:

$$F_W = F_{rio} - F_{chuva} \quad (4.3)$$

A quantidade total de material alterado removido pela erosão química,  $W_q$  ( $t/km^2/ano$ ), por unidade de área e tempo pode ser determinada pelo uso da equação de Moreira-Nordemann (1980 e 1984):

$$W_q = \frac{F_w}{S} \quad (4.4)$$

Onde:

$S$  = área da bacia ( $km^2$ ).

A taxa de intemperismo químico das rochas silicáticas pode ser calculada com base no fluxo anual de sílica dissolvida no rio, conhecendo-se a composição química das rochas ( $S_0$ ) e solos ( $S_s$ , no horizonte mais profundo do perfil de intemperismo, ou seja, no horizonte C) e considerando um intemperismo químico isovolumétrico (Boeglin & Probst, 1998). Esse balanço de massa é descrito na Equação 4.5.

$$v_q = \frac{W_q \text{ sílica}}{(S_0 - S_s)} \quad (4.5)$$

A remoção dos solos em curso de água ( $F_M$ ) pode ser obtida através da multiplicação da concentração dos sólidos totais em suspensão (TSS) e da vazão ( $Q$ ). A quantidade total de material removido pela erosão mecânica,  $W_M$  ( $t/km^2/ano$ ), por unidade de área e tempo pode ser determinada pelo uso da equação:

$$W_M = \frac{F_M}{S} \quad (4.6)$$

Onde:

$S$  = área da bacia ( $km^2$ ).

A Equação 4.7 utiliza a densidade  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) dos solos para calcular a quantidade total de material removido pela erosão mecânica e determinar a velocidade de remoção  $v$  ( $cm/ano$ ) dos solos nas bacias hidrográficas.

$$v_M = \frac{10^{-4} \cdot W_M}{\rho} \quad (4.7)$$

#### 4.5 Processos intempéricos e consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo

A utilização dos resultados da caracterização das águas fluviais permite determinar o tipo intemperismo químico predominante em uma bacia hidrográfica. Para isso, será utilizada uma versão modificada do índice de intemperismo  $R_E$  proposto por Pedro (1966), modificado por Tardy (1971) e usado por Boeglin & Probst (1998) e Mortatti et al. (2003). O índice equivale à razão molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nos perfis de intemperismo de silicatos. Se  $R_E = 0$  o processo de intemperismo é conhecido como alitização, ou hidrólise total, sendo somente o alumínio e ferro fixados como óxi-hidróxidos insolúveis. Se  $R_E > 2$ , prevalece o processo de bissialitização, originando minerais 2:1, como a montmorilonita, por exemplo. Já, se  $2 < R_E > 0$  o processo de intemperismo é chamado de monossialitização, com geração de minerais 1:1, como a caulinita. Este índice pode ser obtido de acordo com a Equação 4.8.

$$R_E = \frac{3 \cdot F_K + 3 \cdot F_{Na} + 2 \cdot F_{Ca} + 1.25 \cdot F_{Mg} - F_{SiO_2}}{0.5 \cdot F_K + 0.5 \cdot F_{Na} + F_{Ca} + 0.75 \cdot F_{Mg}} \quad (4.8)$$

Onde:

$F_K$ ,  $F_{Na}$ ,  $F_{Ca}$ ,  $F_{Mg}$  e  $F_{SiO_2}$  = fluxo anual de K, Na, Ca, Mg e SiO<sub>2</sub>, respectivamente, depois da correção dos aportes atmosféricos (mol/ano).

O enriquecimento ou empobrecimento dos elementos nos horizontes dos solos em relação à rocha foi obtido pelo padrão de distribuição dos elementos analisados nos perfis de solo normalizados pelas rochas. Além disso, pode-se obter o fator de enriquecimento ( $F_E$ ) de cada elemento quantificado nos horizontes dos solos em relação rocha, cujas heterogeneidades litogênicas são minimizadas com a introdução de um elemento normalizador, no caso o Al, pela Equação 4.9:

$$F_E = \frac{(C_i / C_r)_{solo}}{(C_i / C_r)_{rocha}} \quad (4.9)$$

Onde:

$C_i$  = concentração do elemento de interesse;

$C_r$  = concentração do elemento de referência.

O consumo de  $CO_2$  atmosférico/solo durante o processo de interação água-rocha/solo pode ser descrito pela Equação 4.10, a qual considera que todas as espécies químicas dissolvidas quantificadas no rio, depois das correções dos aportes atmosféricos, são derivadas de coeficientes estequiométricos das reações de intemperismo de minerais silicáticos (Stallard & Edmond, 1981; Probst et al, 1992; Mortatti & Probst, 2003).

$$F_{CO_2} = F_{Na\ sil} + F_{K\ sil} + 2F_{Mg\ sil} + 2F_{Ca\ sil} \quad (4.10)$$

Onde:

$F_{CO_2}$  = consumo de  $CO_2$  atmosférico/solo devido ao intemperismo químico (mol/ano);

$F_{Na\ sil}$ ,  $F_{K\ sil}$ ,  $F_{Mg\ sil}$  e  $F_{Ca\ sil}$  = fluxo anual de Na, K, Mg e Ca, respectivamente, derivados do intemperismo químico de silicatos (mol/ano).

#### 4.6 Datação absoluta das áreas de deposição pelo método do chumbo-210

Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande foram observadas varias áreas o com deposição de areia devido às mudanças de declividade deste ribeirão ao longo de seu curso. Para avaliar as taxas de deposição nestas áreas utilizou-se o método do chumbo-210.

Os pontos de amostragem dos sedimentos de fundo do Ribeirão Monjolo Grande para a datação pelo método do Chumbo-210 são apresentados na Figura 4.4.

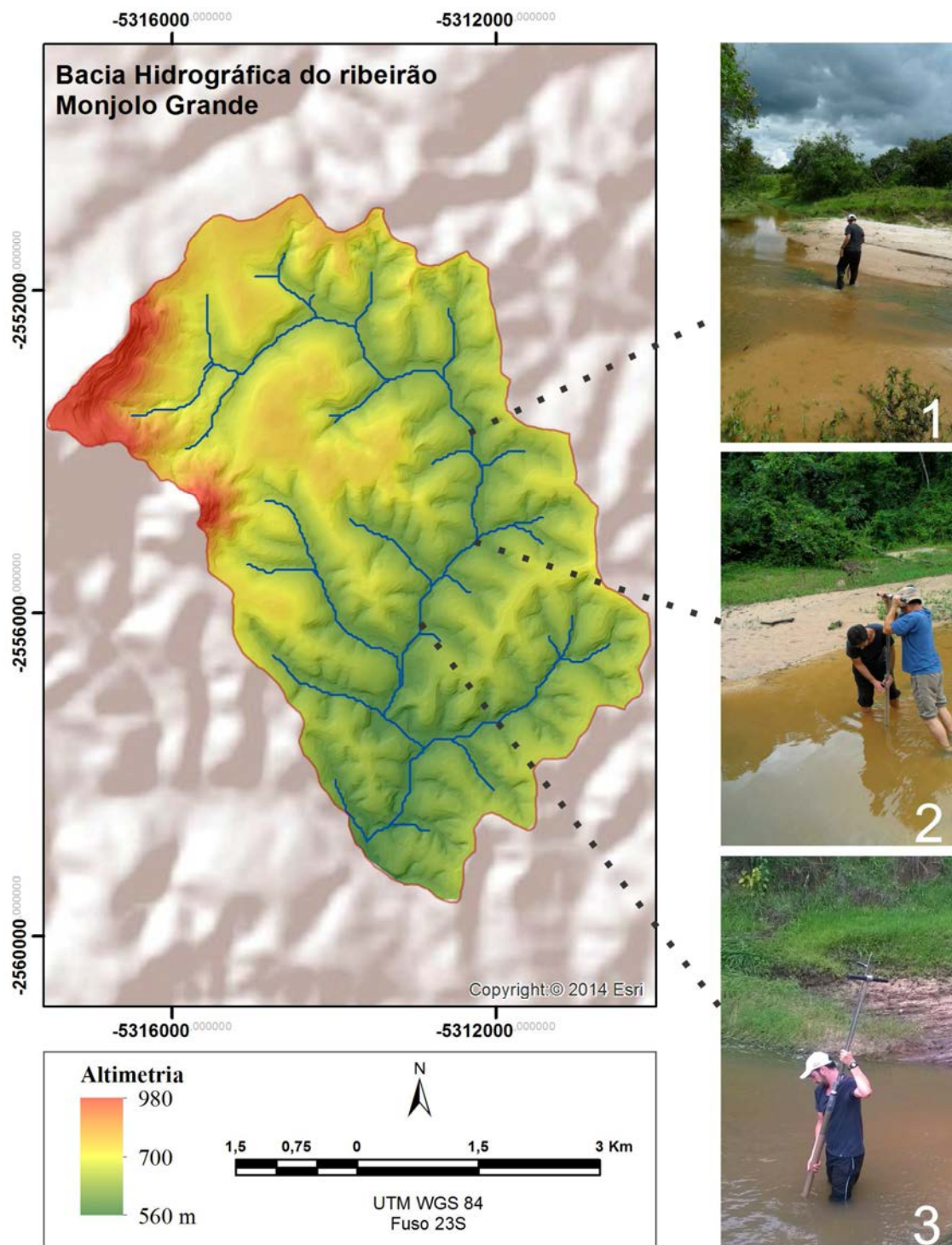


Figura 4.4 – Áreas de amostragem para a avaliação das taxas de sedimentação pelo método do chumbo-210 na bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

Fonte: Elaborado pelo autor

O ponto 1 se localiza na alta bacia do ribeirão Monjolo Grande. O ponto consiste em uma área de deposição de formato ovalado de 33 metros de diâmetro. A deposição

de sedimentos ocorre neste ponto devido à brusca diminuição da energia de transporte, pois logo à montante deste ponto o rio fica encaixado em paredes de arenito com uma largura de que varia de 1,8 a 2,20 metros.

O ponto 2 se localiza na média bacia em área de várzea com deposição de areia onde o rio perde parte de sua energia. O ribeirão passa por uma soleira de argilito, onde permanece encaixado por aproximadamente 10 metros e após esta soleira se abre em uma área de deposição 12 metros de largura.

O ponto 3 se situa na média bacia, após uma sinuosidade. Neste ponto o rio apresenta em seu leito menor aproximadamente 3 metros de largura. As vertentes apresentam pastagem e ocorre afloramento da Formação Pirambóia.

Os sedimentos foram coletados com amostrador de sedimentos moles. Após a coleta, os sedimentos foram extraídos do amostrador com auxílio de um êmbolo, sendo separados com uma espátula em segmentos, numerados separadamente da base para o topo. Depois de secos naturalmente, foram desagregados em gral de porcelana, homogeneizados, pesados e acondicionados em recipiente de acrílico 62 mm de diâmetro e 23 mm de altura, as quais foram seladas para obter, em quatro semanas, equilíbrio secular entre o  $^{226}\text{Ra}$  e seus filhos de curta meia-vida

Depois de acondicionados os sedimentos foram encaminhados para análise de espectrometria gama, utilizada para quantificar a atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  em todas as amostras dos segmentos obtidos a partir do perfil de sedimento original. A espectrometria gama baseia-se na detecção, ampliação e contagens dos fótons gerados pela interação da radiação gama com um cristal de germânio hiper-puro, com 20% de eficiência e resolução de 1,8 KeV para o pico de  $^{60}\text{Co}$  ( 1,33 MeV), sendo o detector calibrado com fontes de energia e eficiência conhecidas (*EG&G ORTEC*). A atividade de  $^{226}\text{Ra}$  foi avaliada através da emissão dos raios gama (0,352 MeV) de seu filho  $^{214}\text{Pb}$ , sendo o  $^{210}\text{Pb}$  determinado através de sua linha gama em 46,5 KeV. Limites considerados baixos para a espectrometria gama são 3 Bq kg<sup>-1</sup> para  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ .

Neste trabalho, a taxa de sedimentação ( $r$ ) foi determinada com base no modelo de taxa de acumulação constante – CRS (ROBBINS, 1978; APPLEBY & OLDFIELD, 1978), ou seja, que o fluxo de chumbo-210 não suportado para o sedimento é constante ao longo do tempo, onde a atividade de chumbo-210 não produzido numa camada  $z$  é dada pela Equação 4.11.

$$A(z) = A(0).e^{(-\lambda_{210}.t)} \quad (4.11)$$

Onde:

$A(z)$  e  $A(0)$  = atividade de chumbo-210 não produzido à profundidade  $z$  e na interface sedimento/água, respectivamente (Bq/g);

$\lambda_{210}$  = constante de decaimento do chumbo-210 (0,0311 anos<sup>-1</sup>);

$t$  = tempo de deposição (anos).

A massa seca acumulada por área (g/cm<sup>2</sup>),  $w$ , é relacionada pelo tempo de deposição de acordo com a expressão  $t = w/f$ , onde  $f$  é a taxa de sedimentação (g/cm<sup>2</sup>/ano). Assim, a Equação 4.11 pode ser simplificada e re-escrita como:

$$\ln A(z) - \ln A(0) = \left(\frac{-0,031}{f}\right).w \quad (4.12)$$

Quando os  $\ln A(z)$  são plotados em função das massas secas acumuladas por área,  $w$ , o resultado é um perfil linear de chumbo-210, com inclinação da reta correspondendo a  $(-0,031/f)$ . A taxa de sedimentação,  $f$ , pode então ser determinada a partir da inclinação média do perfil, utilizando o procedimento de ajuste por mínimos quadrados, como proposto por Baskaran & Naidu (1995). Finalmente, quando a massa acumulada por área de cada segmento é dividida pela taxa de sedimentação obtida, torna-se possível estimar o tempo necessário para a deposição dos sedimentos em cada segmento.

## 5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados das análises físicas e químicas das águas fluviais e pluviais e da composição mineralógica e química das rochas e horizontes dos solos nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga. Os resultados aqui apresentados servirão de base para as discussões para se atingir o objetivo proposto desta Tese de Doutorado.

### 5.1 Águas Fluviais

A Tabela 5.1 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos para as águas fluviais dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga. A média ponderada pela vazão de parâmetro para as águas fluviais de ambas as bacias hidrográficas foi obtida pela Equação 5.1.

$$C_E = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

(5.1)

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 (m<sup>3</sup>/s).

A menor vazão foi de 0,3 m<sup>3</sup>/s (setembro) para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande e 0,2 m<sup>3</sup>/s (agosto e outubro) para o Ribeirão Jacutinga. As maiores vazões para ambas as bacias foram encontrados no mês de janeiro, com 1,8 m<sup>3</sup>/s no Ribeirão Monjolo Grande e 1,0 m<sup>3</sup>/s no Ribeirão Jacutinga, evidenciando que a vazão tem influência direta da quantidade de chuva na bacia. A vazão média se mostrou um pouco maior na bacia do Ribeirão Monjolo Grande (0,8 m<sup>3</sup>/s) do que no Ribeirão Jacutinga (0,5 m<sup>3</sup>/s).

Tabela 5.1 – Resultados dos parâmetros físico-químicos das águas fluviais das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga.

Data de amostragem	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (µS/cm)	OD <sup>1</sup>	TDS <sup>2</sup> (mg/L)	TSS <sup>3</sup>
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>							
27/01/2015	1,8	20,9	6,6	31,0	7,4	50,5	40,0
17/02/2015	1,5	22,8	6,2	37,0	8,1	57,1	25,0
20/03/2015	1,4	22,7	6,1	42,0	7,4	59,4	13,0
20/04/2015	0,8	22,0	6,1	45,0	6,8	62,0	11,0
15/05/2015	0,8	18,5	6,2	45,0	6,7	66,8	8,0
25/06/2015	1,2	17,5	6,8	43,0	6,4	60,8	12,0
19/07/2015	0,4	13,2	6,8	41,0	6,6	59,9	4,0
13/08/2015	0,4	15,4	6,9	52,0	6,0	70,2	4,0
24/09/2015	0,3	17,7	6,6	54,0	6,7	70,9	7,0
17/10/2015	0,5	18,9	6,6	52,0	6,7	61,7	6,0
30/11/2015	0,4	22,0	6,7	41,0	7,4	53,4	13,0
21/12/2015	0,5	22,4	6,1	38,0	8,0	57,9	32,0
<b><i>C<sub>E</sub></i></b>	<b>0,8</b>	<b>19,5</b>	<b>6,4</b>	<b>43</b>	<b>7,0</b>	<b>59,0</b>	<b>18,7</b>
<b>Ribeirão Jacutinga</b>							
27/01/2015	1,0	23,1	6,3	56,0	6,5	36,4	49,0
17/02/2015	0,7	21,4	6,1	70,0	6,5	43,8	33,0
20/03/2015	0,6	23,6	6,7	71,0	7,2	45,9	29,0
20/04/2015	0,6	19,5	6,1	63,0	6,1	54,9	9,0
15/05/2015	0,8	16,4	6,2	75,0	7,0	55,1	13,0
25/06/2015	0,6	16,3	6,9	66,0	6,3	60,5	16,0
19/07/2015	0,4	17,1	6,9	59,0	6,4	50,4	10,0
13/08/2015	0,2	17,1	6,7	69,0	6,1	47,4	12,0
24/09/2015	0,2	18,4	6,9	69,0	6,0	47,6	11,0
17/10/2015	0,4	18,8	6,6	63,0	6,5	45,8	12,0
30/11/2015	0,3	21,1	6,5	66,0	7,0	46,8	27,0
21/12/2015	0,4	22,3	6,6	59,0	7,0	44,3	43,0
<b><i>C<sub>E</sub></i></b>	<b>0,5</b>	<b>19,6</b>	<b>6,5</b>	<b>65,5</b>	<b>6,6</b>	<b>47,9</b>	<b>24,8</b>

<sup>1</sup>Oxigênio dissolvido <sup>2</sup>Sólidos totais dissolvidos <sup>3</sup>Sólidos totais em suspensão <sup>4</sup>Média ponderada pela

vazão

A temperatura desempenha papel importante no meio aquático, afetando as reações que ocorrem nos processos químicos, físicos e biológicos, ou seja, exerce grande influência na atividade biológica e crescimento de organismos aquáticos, os quais possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, chamados de temperaturas ótimas (ESTEVES, 1988). Aumentos na temperatura da água podem ser relacionados à sua origem natural (transferência de calor por radiação, condução e convecção), resultando na redução da concentração de oxigênio dissolvido e no consumo do mesmo, acarretando efeitos danosos aos ecossistemas aquáticos devido à estimulação das atividades biológicas. Observa-se que os valores máximos e mínimos de temperatura foram registrados nos meses de fevereiro e julho respectivamente na bacia do Ribeirão Monjolo Grande (22,8°C e 13,2°C) e de março e junho para o Ribeirão Jacutinga (23,6°C e 16,3°C), respectivamente. A amplitude térmica encontrada foi de 9 °C e 7,5°C para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente, caracterizando as oscilações das diferentes estações do ano.

O pH é governado pelo equilíbrio do dióxido de carbono-bicarbonato e carbonatos. O pH tem uma estreita interdependência entre as comunidades vegetais, animais e o meio aquático. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em conseqüência, alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar no desaparecimento dos seres aquáticos (ESTEVES, 1988). Como se observa na Tabela 5.1, os valores de pH tendem a ser neutros durante todo o período. Os valores mais elevados foram obtidos durante o período seco, onde a diminuição de entrada de água de chuva faz com que o pH tenha um leve aumento. Em relação ao oxigênio dissolvido, suas principais fontes para a água são a atmosfera e a fotossíntese, devendo-se as perdas à decomposição de matéria orgânica (oxidação), difusão para a atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (ESTEVES, 1988). O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais.. Os maiores valores de oxigênio dissolvido foram obtidos na época chuvosa devido ao aumento da quantidade de água, que faz com que elas sejam mais oxigenadas ao longo do curso d'água, com variação entre 8,1 mg/L e 6 mg/L no Ribeirão Monjolo Grande e 7 mg/L e 6 mg/L no Ribeirão Jacutinga.

A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), estabeleceu a classificação para as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, na qual os rios das bacias dos ribeirões

Monjolo Grande e Jacutinga foram enquadrados como Classe 2, de acordo com o Decreto Estadual nº 10.755 de 22 de novembro de 1977. A Classe 2 é definida como águas doces (salinidade  $\leq 0,50\text{‰}$ ) destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; à proteção de comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e a atividade de pesca. Esta Classe limita os valores 6 e 9 para o pH e maior que 6 mg/L para o oxigênio dissolvido. Com isso, os resultados obtidos indicam que os valores de pH e oxigênio dissolvido estão dentro do valor mínimo proposto pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para águas de Classe 2.

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro é importante, pois está diretamente relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Um dos fatores que pode influenciar a condutividade elétrica nos corpos d'água é a formação geológica da área em questão. Através da condutividade elétrica é possível quantificar os macronutrientes, obter informações sobre produção primária (reduz a condutividade) e a decomposição (aumenta a condutividade), identificar as fontes poluidoras e as diferenças hidrogeoquímicas (ESTEVEZ, 1988). Pela análise da Tabela 5.1, é possível atribuir um valor médio de 43 e 66  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para os ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente. Observa-se que os maiores valores de condutividade elétrica foram obtidos na época de seca (de abril a setembro). Para todas as amostras, os valores de condutividade elétrica ficaram abaixo do limite superior esperado para águas naturais de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (HERMES & SILVA, 2004).

A concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) acompanha a tendência da condutividade elétrica, com os maiores valores obtidos no período seco e os menores valores obtidos no período chuvoso. Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande o maior valor encontrado de STD foi no mês Setembro, no ápice da estação seca, com valor 70,9 mg/L. Já no período chuvoso, foi caracterizado o menor valor de STD de 50,5 mg/L em janeiro. No Ribeirão Jacutinga a variação é semelhante, com as maiores concentrações encontradas no período seco, e os menores valores obtidos na estação chuvosa, com média ponderada pela vazão de 84,2 mg/L. Comparando os valores médios anuais para as duas bacias observa-se que o Ribeirão Monjolo Grande apresenta valores mais elevados de STD. Os sólidos totais em suspensão (TSS) são adicionados às águas

superficiais através da remoção dos solos pela erosão, em função disso os maiores valores de sólidos totais em suspensão são encontrados em maior quantidade nas duas bacias estudadas no período chuvoso, fato inverso ao observado para o STD. Na bacia do Ribeirão Jacutinga o valor médio anual ponderado pela vazão de TSS foi de 22,0 mg/L, sendo obtido um valor médio de 14,6 mg/L para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

Os valores quantificados para os principais cátions, ânions e sílica nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga estão expressas na Tabela 5.2. O cálcio dentro do sistema aquático é essencial para o crescimento da flora aquática, visto que funciona como macronutriente para os organismos, além de possuir grande importância na ciclagem de outros elementos, como o fosfato (ESTEVES, 1988). O magnésio tem participação na formação das moléculas de clorofila e participação no metabolismo das células. Sódio e potássio possuem características semelhantes dentro do sistema aquático, sendo responsáveis pela troca e transporte de íons para os meios intra e extracelulares, além de serem nutrientes indispensáveis à manutenção das comunidades aquáticas (ESTEVES, 1988). A concentração dos cátions dentro da bacia dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga seguiram a seguinte tendência:  $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ , respectivamente.

Além disso, os resultados obtidos indicam um comportamento muito similar dos cátions em ambas às bacias estudadas, com as maiores concentrações encontradas no período seco. Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande as concentrações médias ponderadas pela vazão de cálcio, potássio, sódio e magnésio foram de 4,60, 2,44, 1,87 e 1,47 mg/L. Na bacia do Ribeirão Jacutinga o comportamento foi semelhante, com médias ponderadas pela vazão de 6,75, 2,37, 3,66 e 2,71 mg/L cálcio, potássio, sódio e magnésio, respectivamente. A análise dos resultados indica que a presença dos cátions nas bacias hidrográficas estudadas é controlada principalmente pela ação dos processos intempéricos atuantes nas bacias. Durante o período seco não há o efeito de diluição proporcionado pelo aumento da vazão, assim, durante este período a concentração de cálcio, magnésio, sódio e potássio foi superior ao período chuvoso.

Tabela 5.2 Concentração iônica das águas fluviais dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga ao longo de um ano hidrológico.

Data de amostragem	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	(mg/L)										
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>											
27/01/2015	3,63	1,17	1,73	2,17	10,65	30,00	0,47	<0,10	0,06	<2,00	0,30
17/02/2015	4,39	1,36	1,96	1,78	13,19	33,70	0,18	<0,10	0,05	<2,00	0,30
20/03/2015	4,46	1,24	1,76	2,41	12,26	36,25	0,40	<0,10	0,03	<2,00	0,30
20/04/2015	4,53	1,41	1,95	1,87	13,60	37,50	0,24	<0,10	0,05	<2,00	0,60
15/05/2015	4,46	1,31	1,88	2,66	12,15	41,60	2,20	<0,10	0,02	<2,00	0,20
25/06/2015	4,60	1,55	2,00	3,00	12,60	36,20	0,21	<0,10	0,06	<2,00	0,40
19/07/2015	5,48	1,75	2,20	3,03	12,65	33,70	0,17	<0,10	0,05	<2,00	0,50
13/08/2015	4,75	1,57	2,05	2,75	12,70	45,00	0,21	<0,10	0,09	<2,00	0,40
24/09/2015	5,21	1,69	2,06	2,74	12,83	45,00	0,21	<0,10	0,14	<2,00	0,60
17/10/2015	4,50	1,28	1,78	2,79	12,67	37,50	0,54	<0,10	0,01	<2,00	0,30
30/11/2015	4,53	1,46	1,78	2,15	12,19	30,00	0,53	<0,10	0,03	<2,00	0,40
21/12/2015	5,40	1,90	1,76	1,90	12,00	33,70	0,20	<0,10	0,04	<2,00	0,60
<b>Média ponderada</b>	<b>4,45</b>	<b>1,39</b>	<b>1,88</b>	<b>2,35</b>	<b>12,30</b>	<b>35,46</b>	<b>0,47</b>	<b>&lt;0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>&lt;2,00</b>	<b>0,42</b>
<b>Período seco</b>	<b>4,71</b>	<b>1,51</b>	<b>2,00</b>	2,66	12,75	<b>38,90</b>	<b>0,62</b>	<b>&lt;0,11</b>	<b>0,06</b>	<b>&lt;2,00</b>	<b>0,43</b>
<b>Período chuvoso</b>	<b>5,56</b>	<b>1,71</b>	<b>1,80</b>	<b>2,16</b>	<b>12,02</b>	<b>33,26</b>	<b>0,37</b>	<b>&lt;0,11</b>	<b>0,04</b>	<b>&lt;2,00</b>	<b>0,33</b>
<b>Ribeirão Jacutinga</b>											
27/01/2015	6,40	2,23	3,79	2,23	7,02	13,30	0,56	<0,10	0,04	<2,00	0,30
17/02/2015	6,08	2,45	3,60	2,62	7,90	20,00	0,16	<0,10	0,05	<2,00	0,30
20/03/2015	7,13	2,05	2,97	1,96	7,25	22,50	0,15	<0,10	0,05	<2,00	0,30
20/04/2015	7,40	2,47	4,40	2,81	8,30	27,50	0,34	<0,10	0,04	<2,00	0,50
15/05/2015	7,29	2,73	3,22	2,78	7,71	28,75	1,40	<0,10	0,03	<2,00	0,20
25/06/2015	8,35	2,87	4,17	3,29	9,28	31,25	0,55	<0,10	0,11	<2,00	0,40
19/07/2015	6,50	2,20	4,00	3,40	8,30	25,00	0,16	<0,10	0,04	<2,00	0,30
13/08/2015	6,54	2,35	3,64	2,60	7,34	23,50	0,58	<0,10	0,12	<2,00	0,30
24/09/2015	6,46	2,16	3,83	2,30	8,05	23,75	0,14	<0,10	0,11	<2,00	0,40
17/10/2015	6,66	2,10	3,70	2,71	8,43	21,40	0,19	<0,10	0,02	<2,00	0,10
30/11/2015	5,87	2,12	3,68	2,90	5,97	25,00	0,77	<0,10	0,04	<2,00	0,20
21/12/2015	6,79	2,46	3,79	2,75	7,61	20,00	0,53	<0,10	0,04	<2,00	0,20
<b>Média ponderada</b>	<b>6,86</b>	<b>2,39</b>	<b>3,71</b>	<b>2,66</b>	<b>7,78</b>	<b>22,99</b>	<b>0,51</b>	<b>0,00</b>	<b>0,06</b>	<b>0,00</b>	<b>0,29</b>
<b>Período seco</b>	<b>7,32</b>	<b>2,56</b>	<b>3,86</b>	<b>2,94</b>	<b>8,26</b>	<b>27,75</b>	<b>0,67</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>	<b>0,00</b>	<b>0,35</b>
<b>Período chuvoso</b>	<b>6,49</b>	<b>2,25</b>	<b>3,59</b>	<b>2,44</b>	<b>7,38</b>	<b>19,08</b>	<b>0,38</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,00</b>	<b>0,28</b>

O dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) é o constituinte químico de vários minerais, considerado o óxido mais abundante da crosta terrestre (FAURE, 1998). Em ambas as

bacias a concentração de  $\text{SiO}_2$  foi maior durante o período seco, com valores de 12,75 mg/L na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e 8,24 mg/L na bacia do Ribeirão Jacutinga. A alcalinidade representa a capacidade de um ecossistema aquático em neutralizar ácidos a ele condicionados (ESTEVEES, 1988). Ela decorre da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos e tem relação direta com a concentração de sólidos dissolvidos. A média ponderada dos valores de alcalinidade obtiveram valores de 36,5 mg/L e 23,1 mg/L para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga respectivamente. Em ambas as bacias a alcalinidade aumenta do período chuvoso para o período seco, assim como para os cátions estudados.

O cloreto tem sua presença nas águas naturais devido à alteração natural das rochas. Altas concentrações podem indicar despejo de esgoto doméstico e industrial (CETESB, 2009). Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais e concentrações elevadas geralmente estão associadas com fontes subterrâneas (CETESB, 2009). As médias anuais ponderadas pela vazão para o cloreto nas duas bacias hidrográficas estudadas foram praticamente iguais, sendo 0,46 mg/L no Ribeirão Monjolo Grande e 0,48 mg/L no Ribeirão Jacutinga. Os maiores valores de cloreto concentraram-se no período seco para ambas as bacias hidrográficas, com os maiores valores obtidos no mês de maio. Todos os valores de fluoreto ficaram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

O fósforo é um macronutriente, sendo um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos e em funções como o armazenamento de energia (ATP). Os valores de fosfato para ambas as bacias hidrográficas são semelhantes, ou seja, 0,05 mg/L para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande e 0,06 mg/L para a bacia do Ribeirão Jacutinga. Em ambas as bacias hidrográficas os maiores valores se encontram nos meses de agosto e setembro quando ocorre a preparação do solo para o plantio de cana-de-açúcar com a aplicação de fertilizantes fosfatados, como já constatado para a bacia do Rio Corumbataí por Conceição (2000), fato que é mascarado pela diluição provocada no período chuvoso.

Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas, chuvas (lavagem da atmosfera) e através da aplicação de compostos agrícolas (ESTEVEES, 1988). Segundo Tundisi (2006), o íon sulfato constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários. As concentrações de sulfato apresentaram-se abaixo do limite de detecção da técnica utilizada neste estudo durante todo o ano de 2012. O nitrato, íon altamente solúvel, é encontrado em águas como resultado da

oxidação de compostos nitrogenados. O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, principalmente na formação de proteínas (ESTEVES, 1988). Não se pode determinar um padrão relacionado às concentrações de nitrato e o período chuvoso e de seca, apesar das médias para o período seco serem maiores para as duas bacias hidrográficas estudadas, existem concentrações semelhantes em meses do período seco e chuvoso. Todos os valores de nitrato estão abaixo do permitido para as águas de Classe 2 (10 mg/L), segundo a Resolução CONAMA nº 357.

## 5.2 – Águas pluviais

A Tabela 5.3 apresenta os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e químicos das águas pluviais coletadas nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga. O período de chuva foi definido de outubro a março e o período seco de abril a setembro. Os valores médios ponderados (VMP) foram utilizados para os cálculos e discussões neste trabalho para evitar a influência de tempestades na composição química das águas de chuva. Assim, para calcular os valores médios ponderados utilizou-se a seguinte equação:

$$VMP = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

(5.2)

Onde:

$MVP$  = média ponderada do parâmetro (mg/L);

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

$Q_i$  = precipitação total no intervalo entre cada coleta da  $i$ -ésima amostra (mm ou L/m<sup>2</sup>).

Tabela 5.3 - Composição química das águas pluviais (mg/L) em ambas as bacias hidrográficas.

Parâmetro	MPV	Mínimo	Máximo	Período seco	Período chuvoso
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>					
<b>Condutividade</b>	5,03	1,00	16,00	4,88	5,17
<b>pH</b>	5,68	5,10	6,80	5,82	5,47
<b>STD</b>	6,93	3,00	17,00	6,97	6,74
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,58	0,06	3,51	0,42	0,64
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,27	0,06	1,91	0,14	0,36
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,39	0,34	0,41	0,35	0,38
<b>K<sup>+</sup></b>	0,18	0,05	0,59	0,22	0,16
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	4,92	2,50	14,00	5,60	4,44
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,20	<0,10	0,49	<0,10	0,29
<b>F<sup>-</sup></b>	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,06	0,01	0,12	0,04	0,07
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,33	0,10	0,50	0,20	0,40
<b>Ribeirão Jacutinga</b>					
<b>Condutividade<sup>2</sup></b>	4,86	1,00	20,00	4,17	5,41
<b>pH</b>	5,80	5,10	6,73	5,64	5,86
<b>STD</b>	7,78	2,00	14,00	6,93	8,43
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,70	0,06	3,11	0,65	0,74
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,49	0,06	2,77	0,25	0,65
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,33	0,14	0,79	0,28	0,39
<b>K<sup>+</sup></b>	0,34	0,05	1,75	0,27	0,45
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	5,34	2,50	10,00	5,20	5,41
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,18	<0,10	0,53	<0,10	0,25
<b>F<sup>-</sup></b>	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,09	0,02	0,25	0,08	0,09
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,31	0,10	0,50	0,20	0,40

A condutividade elétrica apresentou um valor médio baixo, se comparado às águas fluviais, próximos a 5  $\mu$ S/cm para ambas as bacias hidrográficas, com um discreto

acréscimo no período chuvoso. Valores mais altos de condutividade elétrica foram 16 e 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente, os quais estão associados à deposição seca, cujo aporte tem relação direta com a condutividade elétrica, conforme visualizado na Figura 5.1.

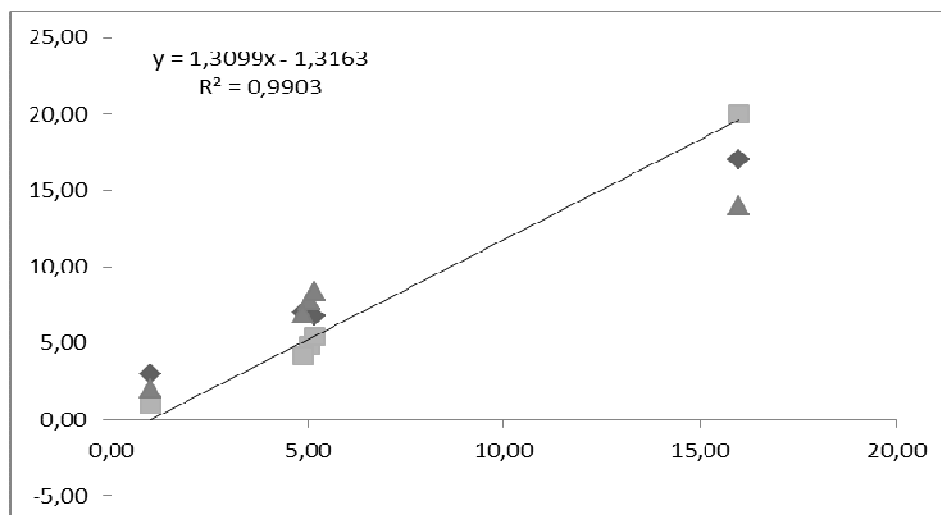


Figura 5.1 - Correlação entre os parâmetros de sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg}/\text{L}$  - eixo x) e condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ , eixo y) para as duas bacias hidrográficas.

O valor de pH de 5,6 e 5,8 em águas de chuva “limpas” é função da solubilização parcial do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e pelo equilíbrio de dissolução parcial do ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) formado, sendo o limite inferior de pH para as águas de chuva acidificadas por processos naturais corresponde a 5,0 (GALLOWAY et al., 1982). Na bacia dos ribeirões Jacutinga e Monjolo Grande não houve valor de pH inferior a 5,0, com os MVP estando dentro desta variação (5,7 e 5,8 para as bacias do ribeirões Jacutinga e Monjolo Grande, respectivamente).

A bacia do rio Corumbataí esta distante cerca de 230 km do oceano atlântico. Assim, as amostras das águas pluviais deveriam apresentar menor influência de sais marinhos na sua composição química em relação às áreas litorâneas, devido à distância dos pontos de coleta com o mar. Esse fato é evidenciado pelos menores valores das concentrações MPV de Na, ou seja, 17  $\mu\text{eq}/\text{L}$  para o Ribeirão Monjolo Grande e 14  $\mu\text{eq}/\text{L}$  para o Ribeirão Jacutinga, quando comparado com os valores obtidos de 142,2  $\mu\text{eq}/\text{L}$  para Ilha Grande (RJ), 62,6  $\mu\text{eq}/\text{L}$  para a cidade do Rio de Janeiro (RJ) e 82,0  $\mu\text{eq}/\text{L}$  para a cidade de Cubatão (SP) (DANELON; MOREIRA-NORDEMANN, 1997;

MELLO, 2001; SOUZA et al., 2006). Além disso, as altas razões iônicas ( $\mu\text{eq/L}$ ) encontradas neste trabalho também confirmam a pouca influência marinha das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga ( $\text{Ca/Na} = 1,7$  e  $2,4$ ,  $\text{Mg/Na} = 1,3$  e  $2,8$ ,  $\text{K/Na} = 0,27$ ,  $0,61$ ,  $\text{Cl/Na} = 0,33$  e  $0,35$ ,  $\text{HCO}_3^-/\text{Na} = 4,7$  e  $6,0$  e  $\text{NO}_3^-/\text{Na} = 0,31$  e  $0,35$ , respectivamente) em relação as águas pluviais coletadas próximas do oceano ( $0,04$ ,  $0,23$ ,  $0,02$ ,  $1,16$ ,  $<0,010$  e  $<0,010$ , respectivamente, segundo WILSON, 1975).

A Tabela 5.3 indica que ocorre a seguinte tendência,  $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$ , para a deposição de cátions na bacia do Ribeirão Monjolo Grande. Já na bacia do ribeirão Jacutinga, o cálcio também é o cátions mais abundante, apresentando a seguinte tendência:  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ . Nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga a variação da concentração de cátions se manteve estável do período seco para o período chuvoso, sendo que o magnésio foi o cátion que mais sofreu variação, com aumento de 40% para ambas as bacias hidrográficas. Em relação aos ânions a tendência de deposição para ambas as bacias hidrográficas foram semelhantes:  $\text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl} > \text{PO}_4^{3-}$ .

As deposições atmosféricas anuais foram obtidas multiplicando-se a concentração de cada íon pela precipitação total ocorrida entre os meses de janeiro e dezembro de 2012, ou seja, 1.474 mm na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e 1632 mm na bacia do Ribeirão Jacutinga. A Tabela 5.4 apresenta os resultados de deposições anuais em diferentes regiões brasileiras, referentes a diferentes anos de amostragem, porém todos abrangem pelo menos um ciclo hidrológico completo. Cabe salientar que houve somente amostragem do tipo “wet only” em quase todos os locais apresentados na Tabela 5.4, ou seja, apenas deposição úmida, com exceções as amostragens realizadas em Campo Grande, que foram do tipo “bulk”, assim como neste trabalho. Desse modo, foi feita uma comparação relativa entre os resultados, com a finalidade de se obter informações sobre as diferentes influências que existem nas águas pluviais das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga

Tabela 5.4 - Deposição atmosférica anual de cátions e ânions (t/km<sup>2</sup>/ano) em algumas regiões brasileiras.

Íon	Manaus <sup>1</sup>	Piracicaba <sup>2</sup>	Campo Grande <sup>3</sup>	Cubatão <sup>4</sup>	Londrina <sup>5</sup>	Candiota <sup>6</sup>	Jacutinga	Monjolo Grande
Ca	0,13	0,12	0,24	----	----	2,06	1,14	0,85
Mg	0,03	0,03	0,04	----	----	0,34	0,80	0,40
Na	0,15	0,07	0,26	5,06	0,19	1,97	0,54	0,57
K	0,90	0,13	0,24	----	0,04	1,20	0,55	0,27
SiO <sub>2</sub>	----	----	----	----	----	----	---	---
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	----	----	----	----	----	----	8,71	7,25
Cl <sup>-</sup>	0,45	0,28	1,00	12,39	0,71	3,75	0,29	0,30
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<0,01	----	----	----	----	----	0,15	0,08
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,26	0,99	0,48	7,54	1,07	7,97	----	--
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,72	1,11	0,79	1,99	1,06	4,02	0,51	0,48

<sup>1</sup> WILLIANS et al., 1997;

<sup>2</sup> LARA et al., 2001;

<sup>3</sup> MOREIRA-NORDEMANN et al., 1997;

<sup>4</sup> DANELON & MOREIRA-NORDEMANN, 1991;

<sup>5</sup> PELICHO et al., 2006;

<sup>6</sup> MIGLIAVACCA et al., 2004.

Com exceção de Candiota, as maiores deposições anuais de Ca e Mg ocorreram nas bacias hidrográficas estudadas. A primeira explicação para as deposições atmosféricas de Ca na bacia do Ribeirão Monjolo Grande seria a dissolução de calcita ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ ) e/ou dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca} + \text{Mg} + \text{HCO}_3^-$ ) proveniente de poeiras de solos das rochas carbonáticas, como já descrito em outras áreas (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004; LARA et al., 2001; MOREIRA-NORDEMANN et al., 1997), visto que na região existem minerações de calcários e argilitos.

A maior deposição atmosférica anual de Na ocorreu em Cubatão, fato já esperado, pois Cubatão localiza-se mais próximo do Oceano Atlântico, onde a deposição atmosférica de Na é predominantemente marinha (MOREIRA-NORDEMANN & GIRARD, 1996). Dentre as cidades discutidas, as maiores deposições atmosféricas anuais de K acontecem em Candiota devido à queima de biomassa (MIGLIAVACCA et al., 2004), seguido por Manaus e pela bacia do Jacutinga. Já em relação à deposição atmosférica anual de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga apresentam elevado valor em comparação aos

demais íons precipitados, cuja explicação pode estar associada à poeira de solos derivados do intemperismo das rochas presentes nesta área.

A maior taxa de deposição atmosférica encontrada em Cubatão para o  $\text{Cl}^-$  deve-se a uma grande influência marinha deste ânion, como também demonstrado para o Na (DANELON; MOREIRA-NORDEMANN, 1991;). O valor encontrado para a deposição atmosférica anual de  $\text{Cl}^-$  nas bacias hidrográficas estudadas pode ser pela queima da palha da cana-de-açúcar (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004; NÉGREL & ROY, 1998; PELICHO et al., 2006; SANUSI et al., 1996), mesma razão para as entradas de  $\text{NO}_3^-$ , que corresponde a  $1 \times 10^5$  toneladas de matéria orgânica ou  $5 \times 10^4$  toneladas de C para a atmosfera no período de seca (LARA et al., 2001). Já em Candiota, o uso de carvão em uma termoelétrica é o principal responsável pelos elevados valores de deposição anual de  $\text{NO}_3^-$  (MIGLIAVACCA et al., 2004).

### 5.3 Classificação das águas fluviais e pluviais

Os termos duro ou mole são aplicados às águas desde, o discurso de Hipócrates, o pai da medicina, em seu tratado de higiene pública "Ar, Água e Localidades" (BAKER, 1949; apud TODD, 1980). O seu significado popular está relacionado com o comportamento da água quando entra em ebulição ou quando sofre adição de sabão (BONOTTO & MANCINI, 1992). A dureza é uma medida baseada no teor de cálcio e magnésio da água. A dureza relativa ao  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) é obtida pela equação (TODD, 1980):

$$DT = 2,5.Ca + 4,1.Mg$$

(5.3)

Onde:

$DT$  = dureza total (mg/L);

Ca = teor de cálcio (mg/L);

Mg = teor de magnésio (mg/L).

A Tabela 5.5 apresenta a classificação das águas em relação à sua dureza de acordo com Sawyer & McCarty (1967). As águas superficiais das bacias dos ribeirões

Monjolo Grande e Jacutinga podem ser classificadas como moles, uma vez que o maior valor obtido foi de 16,5 e 26,6 mg/L, respectivamente.

Tabela 5.5 - Classificação de dureza das águas (SAWYER & McCARTY, 1967).

Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Classificação das águas
0 - 75	Mole
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
Maior que 300	Muito dura

A fim de classificar quimicamente as águas superficiais da bacia das utilizou-se o diagrama de Piper (1944) (Figura 5.2). Os cátions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de cátions), são representados por um ponto em um triângulo e os ânions (expressos em mEq/L, como porcentagem total de ânions) são representados como um ponto em outro triângulo (CONCEIÇÃO, 2000).

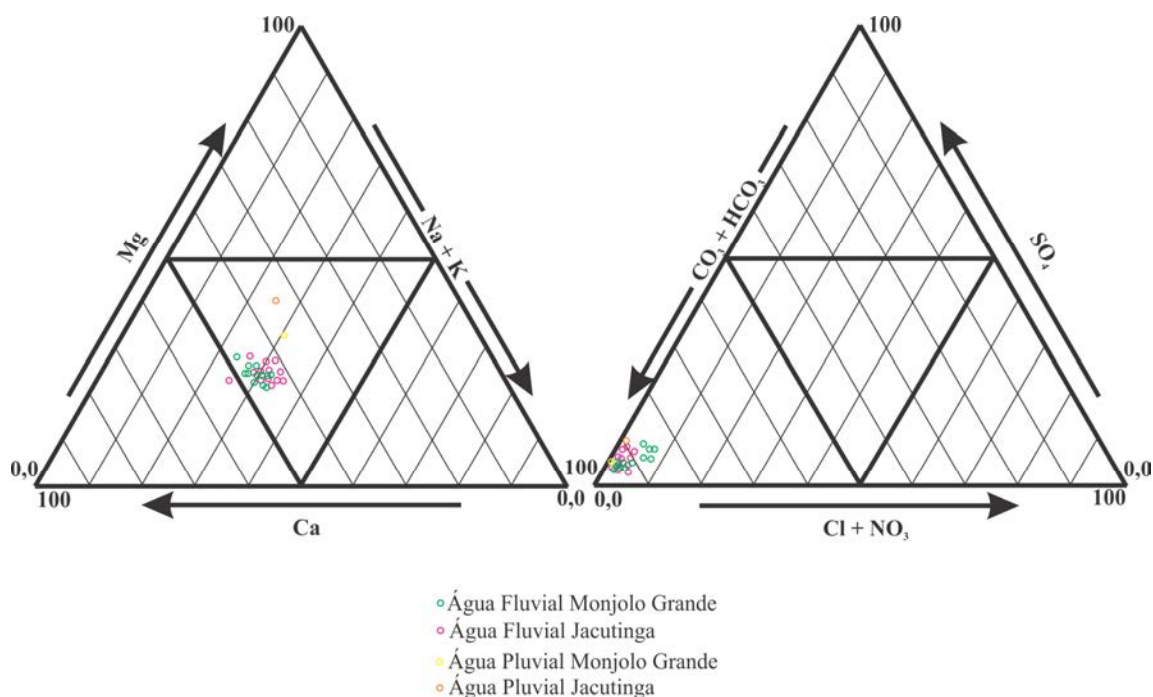


Figura 5.2 - Classificação das bacias hidrográficas estudadas segundo o diagrama de Piper (1944).

De acordo com a leitura do diagrama, em relação aos cátions, as amostras de águas fluviais de ambas as bacias hidrográficas foram classificadas como mistas, com uma leve tendência para cálcicas. De acordo com a composição aniônica é possível

classificar as águas de ambas as bacias hidrográficas como sendo bicarbonatadas, dada a grande predominância de alcalinidade em relação aos demais ânions.

Outra classificação química foi sugerida por Gibbs (1970), baseada nos valores de sólidos totais dissolvidos e na relação de  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ , sendo estes parâmetros representados num diagrama tipo bumerangue (Figura 5.3). Segundo Gibbs (1970), são três os mecanismos principais que determinam a concentração de sólidos dissolvidos nas águas superficiais, sendo eles a precipitação atmosférica (regiões de climas tropicais com intensa precipitação), os processos de intemperismo (regiões com clima mais ameno e com índices de precipitação menores) e os processos de evaporação que permitem a cristalização dos minerais (ocorrem em regiões de clima mais árido).

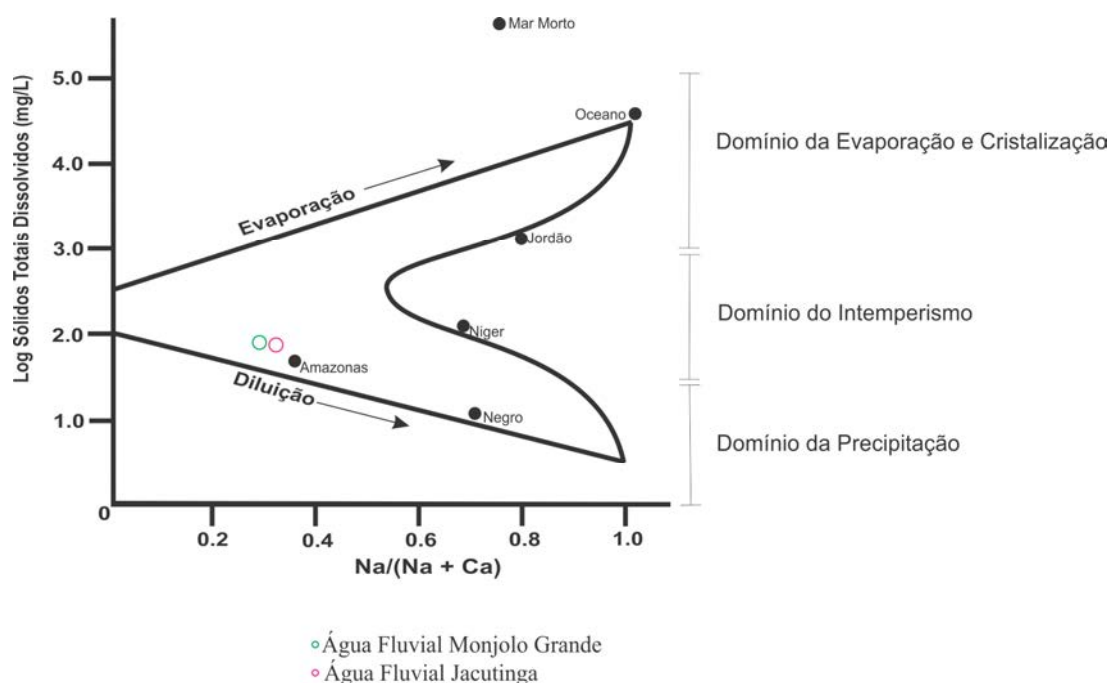


Figura 5.3 - Classificação das águas dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga segundo o diagrama de Gibbs (1970).

A ponta inferior direita do diagrama caracteriza rios tropicais, com elevada precipitação atmosférica e com baixo aporte de sais dissolvidos, como os rios da bacia amazônica. A porção central do bumerangue apresenta valores intermediários de sólidos totais dissolvidos e valores mais baixos de  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ , onde os processos de intemperismo são os responsáveis pelo aporte de sólidos totais dissolvidos. A porção superior do bumerangue caracteriza as águas que tem alta concentração de sólidos totais dissolvidos, características de rios localizados em áreas desérticas como o Rio Jordão e

áreas com grandes concentrações de sais, como os oceanos. A leitura do diagrama permite visualizar que as águas dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga ao longo do ano tendem ao domínio do intemperismo, tendendo mais para a contribuição da do aporte atmosférico.

#### **5.4 - Caracterização mineralógica e química das rochas e seus perfis de intemperismo**

A Tabela 5.6 sumariza a concentração dos elementos maiores nas amostras do perfil de intemperismo de arenitos (Formação Pirambóia) e argilitos (Formação Corumbataí).

Os arenitos da Formação Pirambóia, coletados na bacia do ribeirão Monjolo Grande, são rochas sedimentares compostas por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), illita ( $\text{K}_{0,9}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) e caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). A rocha coletada na bacia do Ribeirão Jacutinga corresponde a um argilito e apresenta como minerais principais o quartzo, illita, caulinita, microclínio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) e albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). A composição química para as rochas de ambas as bacias hidrográficas indica maior concentração de  $\text{SiO}_2$  em relação aos demais óxidos, sendo os óxidos de alumínio, ferro e potássio aparecendo na sequência como elementos mais abundantes depois da sílica. Nos perfis de intemperismo de ambas as bacias hidrográficas há um enriquecimento de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  e empobrecimento de  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . A perda ao fogo (LOI) indica a maior quantidade de matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo. A mineralogia dos perfis de intemperismo confirma essa tendência química, pois somente foram caracterizados quartzo e caulinita em ambos os perfis.

#### **5.5 – Sedimentos de fundo na bacia do ribeirão Monjolo Grande**

A Tabela 5.7 apresenta os resultados da atividade de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$  quantificados nos sedimentos depositados na bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

Tabela 5.6 – Composição química (%) e mineralógica das rochas e produtos de intemperismo nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga.

<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>LOI*</b>	<b>Mineralogia</b>
<b>Monjolo Grande</b>													
<b>Horizonte B</b>	20 cm	89,62	0,27	5,66	1,39	0,02	0,07	0,06	0,02	0,23	0,13	2,85	Quartzo e caulinita
<b>Horizonte C</b>	50 cm	91,03	0,26	4,85	1,39	0,02	0,11	0,05	0,05	0,24	0,13	2,30	Quartzo e caulinita
<b>Rocha Alterada</b>	120 cm	93,54	0,25	3,29	1,35	0,01	0,12	0,04	0,05	0,27	0,12	1,34	Quartzo e caulinita
<b>Rocha Sã</b>	210 cm	89,46	0,21	3,32	1,25	0,18	0,53	0,05	0,07	1,24	0,07	2,62	Quartzo, illita e caulinita,
<b>Jacutinga</b>													
<b>Horizonte B</b>	20 cm	66,93	0,84	17,72	7,50	0,04	0,68	0,07	0,04	1,10	0,12	4,67	Caulinita e quartzo
<b>Horizonte C</b>	100 cm	66,76	0,86	17,67	7,26	0,04	0,82	0,20	0,05	1,11	0,10	4,28	Caulinita e quartzo
<b>Rocha Alterada</b>	170 cm	67,14	0,73	17,79	6,82	0,03	1,23	0,20	0,08	1,57	0,11	5,60	Caulinita e quartzo
<b>Rocha Sã</b>	220 cm	65,88	0,69	16,08	6,81	0,09	1,88	0,27	0,21	4,16	0,05	3,94	Quartzo, Illita, Caulinita, Microclínio, Albita,

\*Perda ao fogo (matéria orgânica e elementos voláteis)

Como se pode observar, a atividade de  $^{210}\text{Pb}$  ficou abaixo do limite de detecção, ou seja, 3 Bq/kg. Contudo, as atividades de  $^{226}\text{Ra}$  variou entre 35 e 56 Bq/kg. Como não houve a quantificação de  $^{210}\text{Pb}$  nos sedimentos amostrados, não é possível utilizar o método do  $^{210}\text{Pb}$  para a datação destes sedimentos. O  $^{210}\text{Pb}$  é um descendente radioativo do  $^{226}\text{Ra}$  e, estando em equilíbrio radioativo, espera-se poder quantificar esse isótopo. Porém, o decaimento radioativo do  $^{226}\text{Ra}$  gera  $^{222}\text{Rn}$ , um gás que devido a alta porosidade dos arenitos é transferido para as águas fluviais e, conseqüentemente, não permitindo sua quantificação nos sedimentos amostrados.

Tabela 5.7 – Atividade de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$  nos sedimentos depositados na bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

<b>Amostra</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b><math>^{210}\text{Pb}</math> (Bq/kg)</b>	<b><math>^{226}\text{Ra}</math> (Bq/kg)</b>
<b>Ponto 1</b>			
<b>MGP1_01</b>	0-10	<3	49
<b>MGP1_02</b>	10-15	<3	51
<b>MGP1_03</b>	15-21	<3	48
<b>MGP1_04</b>	21-27	<3	43
<b>MGP1_05</b>	27-33	<3	40
<b>MGP1_06</b>	33-44	<3	48
<b>MGP1_07</b>	44-50	<3	50
<b>MGP1_08</b>	50-56	<3	39
<b>MGP1_09</b>	56-62	<3	41
<b>MGP1_10</b>	62-68	<3	35
<b>Ponto 2</b>			
<b>MGP2_01</b>	0-10	<3	52
<b>MGP2_02</b>	10-18	<3	48
<b>MGP2_03</b>	18-27	<3	56
<b>MGP2_04</b>	27-33	<3	50
<b>MGP2_05</b>	33-39	<3	47
<b>MGP2_06</b>	39-45	<3	41
<b>MGP2_07</b>	45-51	<3	42
<b>MGP2_08</b>	51-57	<3	48
<b>MGP2_09</b>	57-63	<3	38
<b>Ponto 3</b>			
<b>MGP3_01</b>	0-6	<3	42
<b>MGP3_02</b>	6-12	<3	40
<b>MGP3_03</b>	12-18	<3	37
<b>MGP3_04</b>	18-24	<3	46
<b>MGP3_05</b>	24-30	<3	41
<b>MGP3_06</b>	30-38	<3	37

## 6 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE EROÇÃO QUÍMICA E MECÂNICA ENTRE ARENITOS E ARGILITOS NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ

### 6.1. Fluxos de elementos/compostos nas bacias hidrográficas estudadas

Os fluxos de elementos/compostos ( $F_{rio}$ ) removidos através do exutório das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga (Tabela 6.1) foram calculado pela multiplicação dos valores apresentados na Tabela 5.2 para as concentrações médias ponderadas dos cátions, sílica e ânions e as vazões médias nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande nos períodos de estudo, seco e chuvoso.

Tabela 6.1 - Fluxo anual de cátions, sílica e ânions (t/ano) em ambas as bacias hidrográficas.  
Fonte: Elaborado pelo autor

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDS
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>										
<i>F<sub>rio</sub></i>	116,92	36,60	49,36	61,79	323,35	931,89	12,29	1,31	11,04	1544,55
<b>Período seco</b>	96,54	30,86	40,90	54,44	261,27	797,34	12,71	1,19	8,72	1303,97
<b>Período chuvoso</b>	178,26	54,83	57,71	69,14	385,42	1066,44	11,87	1,38	10,62	1835,67
<b>Ribeirão Jacutinga</b>										
<i>F<sub>rio</sub></i>	111,84	38,91	60,45	43,41	126,72	374,65	8,26	0,98	4,73	769,93
<b>Período seco</b>	108,42	37,95	57,23	43,53	122,35	411,31	9,86	0,98	5,14	796,96
<b>Período chuvoso</b>	116,71	40,37	64,46	43,85	132,74	342,91	6,77	0,82	5,09	753,72

Pode-se observar que o transporte total de elementos dissolvidos ocorreu mais intensamente na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, com um transporte anual de 1544,45 toneladas de material dissolvido nas águas fluviais. O Ribeirão Jacutinga teve carreados 787,9 toneladas de TDS em um ano de amostragem das águas fluviais.

Esta diferença pode ser explicada pelas maiores vazões e concentrações dos vários elementos/compostos quantificados no Ribeirão Monjolo Grande em relação ao Ribeirão Jacutinga. Além disso, utilizando-se a concentração média ponderada pela vazão dos cátions, sílica e ânions e as vazões médias nos períodos de seca (de outubro a março) e de chuva (de

abril a setembro) é possível simular os fluxos anual destes elementos/compostos em duas condições climáticas distintas, ou seja, em um clima quente e úmido e em um clima quente e seco. Os resultados apresentados na Tabela 6.1 mostram claramente que na bacia do ribeirão Monjolo Grande há um maior fluxo no período chuvoso em relação ao período seco (1835,67 e 1303,97t/ano) a diferença entre os fluxos se explica pelo aumento das vazões, principalmente no mês de Janeiro. Entretanto, na bacia do Ribeirão Jacutinga há um predomínio do transporte no período considerado como seco – Abril a Setembro – com um valor de 796,96 t/ano. No período considerado como chuvoso, o valor de transporte foi menor, de 753,72 t/ano. Tal fato ocorreu pois durante os meses de Outubro, Novembro e Dezembro, as vazões tiveram valor médio de 0,35 m<sup>3</sup>/s, enquanto os meses de Abril, Maio e Junho tiveram valor médio de 0,7 m<sup>3</sup>/s, como pode ser observado na tabela 5.1.

Dividindo-se o transporte total anual pela área total das bacias é possível obter o transporte específico dos elementos/compostos, de acordo com a Equação 4.4. Os valores estão expostos na Tabela 6.2. Por se tratar de bacias com aproximadamente a mesma área, a variação do fluxo específico se dá em função dos mesmos motivos discutidos para o fluxo anual de cátions, sílica e ânions.

Por apresentar maior vazão e também por se tratar de uma bacia com litologia predominante de arenitos predominantemente quartzosos, o fluxo específico de sílica na bacia do Ribeirão Monjolo Grande foi superior em quase três vezes à do Ribeirão Jacutinga.

Tabela 6.2 - Fluxo específico anual de cátions, sílica e ânions (t/km<sup>2</sup>/ano) em ambas as bacias hidrográficas.

Fonte: Elaborado pelo autor

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDS
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>										
<i>F<sub>rio/S</sub></i>	4,06	1,27	1,71	2,15	11,23	32,36	0,43	0,05	0,38	53,63
<b>Período seco</b>	3,35	1,07	1,42	1,89	9,07	27,69	0,44	0,04	0,30	45,28
<b>Período chuvoso</b>	6,19	1,90	2,00	2,40	13,38	37,03	0,41	0,05	0,37	63,74
<b>Ribeirão Jacutinga</b>										
<i>F<sub>rio/S</sub></i>	3,88	1,35	2,10	1,51	4,40	13,01	0,29	0,03	0,16	26,73
<b>Período seco</b>	3,76	1,32	1,99	1,51	4,25	14,28	0,34	0,03	0,18	27,67
<b>Período chuvoso</b>	4,05	1,40	2,24	1,52	4,61	11,91	0,24	0,03	0,18	26,17

A fim de determinar o fluxo de cátions, sílica e ânions advindos do intemperismo das rochas, fez-se necessário a correção dos valores de fluxo específico de cátions, sílica e ânions

relacionados às águas pluviais, foram utilizadas as Equações 4.3 e 4.4, com os valores apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Quantidade total de material alterado removido pela erosão química,  $Wq$  (t/km<sup>2</sup>/ano), por unidade de área e tempo em ambas as bacias hidrográficas.

Fonte: Elaborado pelo autor

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$Wq$
<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>										
<b><math>Wq</math></b>	3,48	1,00	1,32	1,97	11,23	27,44	0,23	-0,01	0,05	46,70
<b>Período seco</b>	2,93	0,93	1,07	1,67	9,07	22,09	0,43	0,00	0,10	38,30
<b>Período chuvoso</b>	5,55	1,54	1,62	2,24	13,38	32,59	0,12	-0,02	0,00	57,03
<b>Ribeirão Jacutinga</b>										
<b><math>Wq</math></b>	3,18	0,86	1,77	1,17	4,40	7,67	0,11	-0,06	-0,14	19,03
<b>Período seco</b>	3,11	1,07	1,71	1,24	4,24	9,08	0,34	-0,04	-0,02	20,73
<b>Período chuvoso</b>	3,31	0,75	1,85	1,07	4,61	6,50	-0,01	-0,06	-0,22	17,79

A bacia do Ribeirão Monjolo Grande (46,70 t/km<sup>2</sup>/ano) apresentou maior valor de  $Wq$  que a bacia do Ribeirão Jacutinga (19,03 t/km<sup>2</sup>/ano). Em ambas as bacias hidrográficas, a contribuição dos elementos dissolvidos é predominante devido ao intemperismo das rochas e a entrada dos elementos na bacia se dá através da água subterrânea. Na bacia do ribeirão Monjolo Grande, mesmo com o efeito de diluição e com maiores entradas atmosféricas teve um fluxo específico maior durante o período chuvoso, com valor de 57,03 t/km<sup>2</sup>/ano. Apesar do efeito de diluição, compreende-se este valor pois há maior quantidade de infiltração de água e temperaturas mais elevadas, o que permite uma velocidade maior às reações químicas do intemperismo. Na bacia do ribeirão Jacutinga os valores de transporte específico foram próximos tanto nos períodos seco e chuvoso. No entanto, valores de vazão maiores registrados durante os meses de abril a junho (período seco) faz com que no período seco houvesse um aumento do fluxo específico de material dissolvido.

Como comparação dos resultados com outras rochas no mundo, dados de fluxo anual de material dissolvido de bacias hidrográficas em granitos e basaltos estão apresentados na Tabela 6.4. Em geral é possível concluir que arenitos e argilitos se alteram mais rápido que rochas graníticas. O fluxo de material dissolvido em bacia arenítica calculado neste trabalho é 46,70, mais próximo às bacias hidrográficas com litologia basáltica, como Deccan Traps (Índia), São Miguel, e Islândia. Entretanto, Ilhas Reunião e Java (Indonésia) possuem maior fluxo anual devido ao elevado runoff, temperatura e relevo. Bacias com litologia argilosa

estão abaixo ainda dos fluxos anuais mostrados para arenitos e basaltos, resultando em uma taxa de alteração mais lenta.

Tabela 6.4 – Dados de fluxo anual específico ( $F_w$ ) para bacias hidrográficas com rochas granitoides e basálticas. Fonte: Conceição et al 2015

Nome	$F_w$ (t/km <sup>2</sup> /ano)	Temperatura (°C)	Vazão (mm/ano)	Referência
Rochas Graníticas				
<b>Canadá</b>	2,1	5,8	680	White & Blum (1995)
<b>Sibéria</b>	3,1	2,0	215	Huh & Edmond (1999)
<b>Noruega</b>	1,5	5,7	1690	White & Blum (1995)
<b>EUA</b>	2,1	4,8	720	White & Blum (1995)
<b>Slave Province</b>	0,3	-4,0	100	Millot et al. (2002)
<b>Grenville</b>	1,5	4,5	575	Millot et al. (2002)
Rochas Basálticas				
<b>São Miguel</b>	35	16.0	730	Louvat & Allègre (1998)
<b>Deccan Traps</b>	37	25.0	460	Dessert et al (2001)
<b>Islândia</b>	36	2.0	1883	Louvat (1997)
<b>Java</b>	326	26.6	4050	Louvat (1997)
<b>Ilhas Réunion</b>	102	18.7	2430	Louvat & Allègre (1997)
<b>Basaltos da Bacia do Paraná</b>	30	22.5	565	Conceição et al. (2015)

O fluxo anual obtido nas bacias estudadas é alto se comparado especialmente com valores obtidos no continente europeu, marcado por clima mais frio, menores volumes de precipitação e rochas cristalinas, mais resistentes ao intemperismo que rochas sedimentares. Outros valores obtidos na literatura mostram os seguintes valores de fluxos: 6,3 t/km<sup>2</sup>/ano para a bacia hidrográfica de Kalix (rocha granítica) na Suécia (LAND et al., 1999); 2,7 t/km<sup>2</sup>/ano para a bacia hidrográfica Halladale (granito) no norte da Escócia (BAIND et al., 2001); 2,6 t/km<sup>2</sup>/ano para gnaisses, granitos e anfibolitos próxima à fronteira Rússia e Noruega (KOPTSIK et al., 1999). Para rochas carbonáticas, no entanto, a taxa de intemperismo é maior, mesmo em climas mais frios, como indica o fluxo de 67,8 t/km<sup>2</sup>/ano a bacia do Rio Bow em Alberta (Canadá) (GRASBY AND HUTCHEON, 2000).

No Brasil em rochas metamórficas e climas áridos, as taxas obtidas por Moreira-Nordemann (1980), foi de 36 t/km<sup>2</sup>/ano para a bacia do Rio Salgado. Sob influência de clima tropical úmido Moreira-Nordemann (1984) obteve valor de 100 t/km<sup>2</sup>/ano para a bacia do

Rio Preto Preto no sul do estado da Bahia. Para rochas em clima equatorial as taxas de intemperismo aproximam-se das taxas obtidas para a bacia do Ribeirão Jacutinga, ou seja, 22,6 t/km<sup>2</sup>/ano para a bacia do Rio Amazonas (MORTATTI & PROSBT, 2003), ficando abaixo dos valores obtidos para o Ribeirão Monjolo Grande. Sardinha et al. (2010) obteve um valor de 18,5 t/km<sup>2</sup>/ano para bacia com rochas ígneas e metamórficas no alto Sorocaba.

## 6.2. Taxa de erosão química nas bacias hidrográficas estudadas

De acordo com Boeglin and Probst (1998), a taxa de intemperismo químico das rochas ( $v_q$ ) pode ser calculado pela equação Equação 4.5. O fluxo anual de sílica dissolvido nas águas fluviais das bacias estudadas, com as respectivas correções atmosféricas foi de 11,23 t/km<sup>2</sup>/ano para o Ribeirão Monjolo Grande e de 4,4 t/km<sup>2</sup>/ano para o Ribeirão Jacutinga (Tabela 6.3). Para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga a porcentagem de sílica na rocha parental e no horizonte C foi de 89,4% e 91% e 65,9% e 66,8%, respectivamente (Tabela 5.6). Com uma densidade de 2650 t/m<sup>3</sup> para as rochas sãs e 1800 t/m<sup>3</sup> nos horizontes C, pode-se obter uma velocidade de intemperismo da rocha, ou taxa de erosão química, de 1,73 m/Ma na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e 0,83 m/Ma na bacia do Ribeirão Jacutinga (Tabela 6.5)

Tabela 6.5 – Taxas de erosão química (m/Ma) nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga.

Fonte: Elaborado pelo autor

<b>Ribeirão Monjolo Grande</b>	
$v_q$	1,53
<b>Período seco</b>	1,24
<b>Período chuvoso</b>	1,82
<b>Ribeirão Jacutinga</b>	
$v_q$	0,83
<b>Período seco</b>	0,87
<b>Período chuvoso</b>	0,79

Na comparação entre as duas bacias o primeiro ponto a ser levantado é que ambas estão sobre mesmo regime climático e apresentam semelhante uso da terra, portanto estão

submetidas às mesmas condições exógenas. Os arenitos possuem uma permeabilidade da água de chuva maior do que os argilitos, na ordem de  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$  a  $10^{-9}$  cm/s (Pinto, 2002), respectivamente, assim há maior infiltração, facilitando o ataque químico nos arenitos pelas águas das chuvas. O quartzo (principal mineral na composição dos arenitos encontrados nas bacias apresenta baixa velocidade de alteração (SCHULZ & WHITE, 1999), assim, a maior parte dos elementos adicionados às águas superficiais provém da alteração da matriz carbonática que une os grãos de quartzo.

Por possuírem baixa velocidade de infiltração, este fato não favorece a interação água-rocha/solo nos argilitos da Formação Corumbataí que afloram na bacia do Ribeirão Jacutinga e, conseqüentemente, as taxas de intemperismo químico, apesar de estas rochas serem compostas por minerais mais susceptíveis ao intemperismo químico.

A Tabela 6.5 apresenta ainda as taxas de erosão química nas simulações de condições climáticas quentes e úmidas e quentes e secas. É possível observar que as taxas de erosão química tem relação direta com a vazão.

Se admitíssemos que houvesse predominância de um clima com médias chuvosas acima de 2000 mm anuais, as taxas de erosão química aumentariam para 1,53 m/Ma na bacia do ribeirão Monjolo Grande tendo um aumento de aproximadamente 20% das taxas durante o período chuvoso. Já na bacia do ribeirão Jacutinga, com valores elevados de vazão diversos meses da estação seca, o aumento das taxas de erosão química aumentariam para 0,87 m/Ma. Ao contrário, em períodos onde há menores valores de vazão, com chuvas inferiores a 700 mm anuais, as taxas de erosão química diminuiriam para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande diminuiriam para 1,24 m/Ma. Com isso, pode-se concluir que se houvessem mudanças climáticas substanciais, que levassem ao aumento das vazões médias, as taxas de erosão química aumentariam ou diminuiriam em torno de 20% para os arenitos e 7% para os argilitos.

Os valores obtidos neste trabalho são mais baixos dos que os encontrados para dioritos em Porto Rico (58 m/Ma) (WHITE et al., 1998); carbonatos para a bacia do Rio Sena, na França (25 m/Ma) (ROY et al., 1999); rochas cristalinas (8,5 m/Ma) e arenitos alterados sob diferentes condições climáticas, como na bacia do Rio Congo (12,6 m/Ma) (PROSBT, 1992). No Brasil, estudos conduzidos na bacia Amazônica por Mortatti & Probst, (2003) estimaram uma taxa de 15m/Ma utilizando métodos de equilíbrio isotópico do U. Moreira-Nordemann (1980) determinou uma taxa de intemperismo químico de 40/m/Ma para rochas metamórficas no sul da Bahia também por métodos isotópicos do Uranio. Bonotto et al. (2007) no Morro do Ferro, Minas Gerais, calculou uma taxa de 15 m/Ma para rochas alcalinas em Poços de

Caldas. Sardinha et al. (2010) calculou uma taxa de 14 m/Ma para rochas ígneas e metamórficas na bacia do alto Sorocaba. Conceição et al. (2015) obteve uma taxa de 6 m/Ma para rochas basálticas da formação Serra Geral na bacia do Paraná sob condições climáticas tropicais. A bacia do Rio Corumbataí é composta por rochas arenosas (42%), argilíticas (25%) e ígneas - basaltos (17%). A taxa de erosão química para os arenitos e argilitos foi de 1,53 e 0,83 m/Ma. A taxa de erosão química em basaltos, calculada por Conceição et al. (2015), foi de 6 m/Ma. Portanto, a velocidade média formação de front de intemperismo na bacia do Corumbataí é de 1,2 m/Ma, levando em conta somente arenitos e argilitos, e de 2,8 m/Ma levando em conta os basaltos.

### **6.3 Processos intempéricos atuantes e consumo de CO<sub>2</sub> nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga**

Pedro & Sieffermann (1979) consideram que o intemperismo deve-se basicamente à alteração de minerais primários, ou seja:

minerais primários + solução de ataque = minerais secundários + lixiviados.

A degradação primária ou total destruição das estruturas dos minerais primários pode produzir fases secundárias, onde o processo é fortemente influenciado pela natureza dos minerais primários, clima, biosfera e pelo tempo (Martini & Chesworth, 1992). O tipo predominante de alteração das rochas das bacias hidrográficas estudadas foi obtido através do índice  $R_E$ , de acordo com metodologia descrita no item 4.5, obtido através dos fluxos molares de cátions + sílica nas bacias, de acordo com a equação 4.8. O resultado do índice  $R_E$  para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga foi respectivamente de 2,1 e 2,4, indicando que as os minerais silicáticos das rochas sedimentares das bacias hidrográficas estudadas apresentam um processo de intemperismo químico de monossilicização. Esse processo de intemperismo químico pode ser confirmado usando um diagrama proposto por Nesbitt and Young (1984, 1989) apresentado na Figura 6.1.

Assim, nas bacias dos Ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga ocorre hidrólise parcial dos minerais das rochas sedimentares, com parte da sílica permanecendo no perfil de intemperismo e Na, Ca, K e Mg sendo removidos. As possíveis reações envolvidas no processo de intemperismo químico em ambas as bacias hidrográficas são mostradas na Figura 6.2. O Na está sendo eliminado por hidrólise da albita, K pela hidrólise do microclínio e illita.

Conseqüentemente, albita, microclínio e illita são transformados em caulinita. Além disso, nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga não há minerais silicáticos de Ca e Mg nas rochas sedimentares, bem como não contem volume significantes de minerais com  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ou  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo esperada baixa entrada destes cátions e ânions para as águas superficiais devido ao processo de interação água-rocha/solo. O quartzo sofre dissolução em velocidade muito mais baixa que os demais minerais silicáticos, permanecendo no perfil de intemperismo juntamente com as caulinitas.

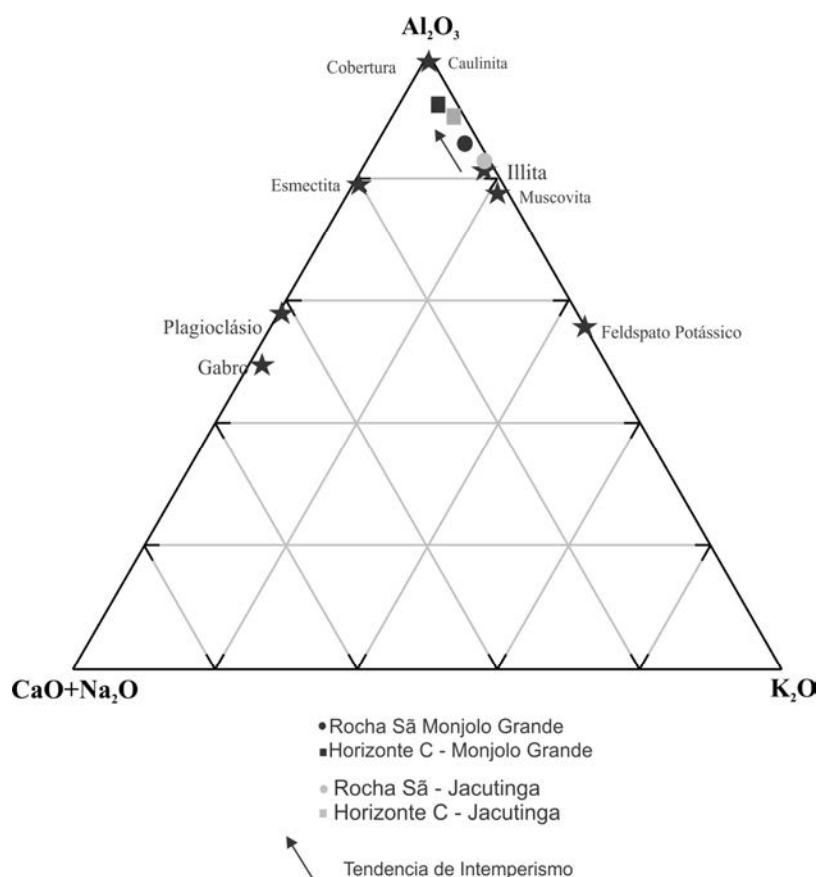


Figura 6.1 – Diagrama de tendência de intemperismo das amostras de rocha e solo nas bacias hidrográficas estudadas. Fonte: Elaborado pelo autor

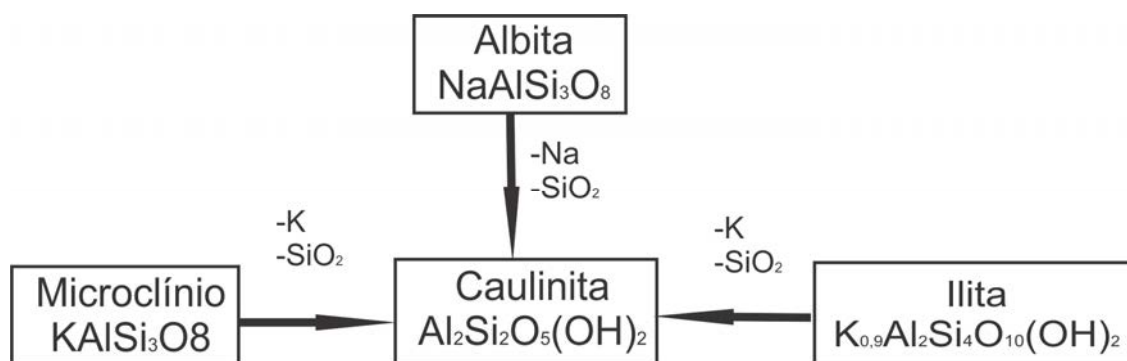


Figura 6.2 – Possíveis alterações mineralógicas devido ao processo de intemperismo químico nas bacias estudadas. Fonte: Elaborado pelo Autor

Para uma melhor avaliação da distribuição dos elementos nos perfis de intemperismo das bacias dos ribeirões Monjolo Grande Jacutinga, foi utilizado o Fator de Enriquecimento (EF) empregando o alumínio para a normalização dos dados de cada horizonte, segundo a Equação 4.9. Esse fator é definido como a razão entre o teor do elemento X e o teor de Al no horizonte/camada considerada dividida pela razão entre o teor do elemento X e o teor de Al no material de referência utilizado para fazer a comparação. Esse parâmetro é frequentemente utilizado em estudos intempéricos (SINEX & WRIGHT, 1988; RAVICHANFRAN et al., 1995; MATHIEU et al., 1995; LETKEMAN et al., 1996; OLIVEIRA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2002; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2006) e indica se o elemento encontra-se mais enriquecido ( $\text{EF} > 1$ ) ou empobrecido ( $\text{EF} < 1$ ) em relação ao material de origem. Neste estudo, a distribuição dos elementos foi considerada relativamente ao arenito e o argilito para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente, pois representam o principal material parental nos perfis de intemperismo. A Tabela 6.6 mostram os valores obtidos para EF para as rochas alteradas em relação à rocha. Os fatores de enriquecimento nos horizontes C e B apresentaram valores de EF muito próximos aos obtidos para a relação rocha alterada/rocha sã.

Tabela 6.6 Fator de enriquecimento dos elementos nas rochas alteradas em relação à rocha, normalizados pelo alumínio. Fonte: Elaborado pelo autor.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Monjolo Grande</b>	0,7	0,8	0,8	0,1	0,1	0,7	0,5	0,1	1,3
<b>Jacutinga</b>	0,9	1,13	0,89	0,4	0,4	0,7	0,2	0,2	1,2

Os perfis de intemperismo das bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga são compostos basicamente por quartzo e caulinita. Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande prevalece o quartzo, fato inverso ao observado para a bacia do Ribeirão Jacutinga, onde caulinita é o principal mineral constituinte dos horizontes de intemperismo. Esta composição mineralógica, a qual é influenciada diretamente pelo processo de hidrólise parcial ou monossilatização, reflete o empobrecimento significativo de MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e MnO. Além disso, os resultados mostram que o Al é o elemento mais estável durante o processo de intemperismo químico nas bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga. Os óxidos de Si, Ti e Fe são ligeiramente empobrecidos em relação ao óxido de Al. Somente o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentou enriquecimento maior que o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em ambas as bacias hidrográficas, indicando sua baixa lixiviação durante o processo de intemperismo químico, podendo especular-se que este óxido está incorporado na estrutura cristalina das caulinitas.

O consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o processo de interação água-rocha/solo foi obtido pela Equação 4.10 e mostram valores muito parecidos para ambas as bacias hidrográficas, ou seja,  $0,37 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano e  $0,45 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente. Isso mostra que o consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o intemperismo químico dos arenitos e argilitos sob as mesmas condições climáticas tem um comportamento parecido. Estes valores são maiores que a média mundial para rochas silicáticas ( $0,034 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) e menores que em áreas carbonáticas ( $0,800 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (MEYBECK, 1987). Porém, estes valores são próximos aos obtidos para a média de consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o processo de intemperismo químico para as rochas da bacia Amazônica ( $0,331 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (MORTATTI & PROBST, 2003). Além disso, estes valores são menores que para algumas bacias hidrográficas basálticas mundiais, tais como na Ilha de São Miguel nos Açores ( $0,6 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (LOUVAT & ALLÈGRE, 1998), na Islândia ( $0,7 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (LOUVAT, 1997), no Deccan Traps ( $1,3 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (DESSERT et al., 2001), na ilha Réunion ( $2,3 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (LOUVAT & ALLÈGRE, 1997) e em Java ( $6,4 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/yr) (LOUVAT, 1997).

Na bacia do Rio Corumbataí, a área ocupada por arenitos e argilitos é semelhante, podendo se inferir um consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo igual a  $0,44 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano, valor muito próximo ao consumos de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo para os basaltos da Formação Serra Geral ( $0,4 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano) (CONCEIÇÃO et al., 2015). Considerando um consumo de CO<sub>2</sub>

atmosférico/solo médio de  $0,4 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano durante o processo de intemperismo químico para as rochas sedimentares e magmáticas da Bacia Sedimentar do Paraná, a qual possui uma área de  $1,5 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup>, pode-se obter um consumo total de  $0,6 \cdot 10^{12}$  mol/ano, valor que representa 5,12% do fluxo de CO<sub>2</sub> consumido anualmente devido ao intemperismo químico global do rochas silicáticas, definido por Gaillardet et al., (1999) em  $11,54 \cdot 10^{12}$  mol/ano.

#### 6.4 - Fluxos de sólidos em suspensão e erosão mecânica

As taxas de erosão mecânica foram calculadas utilizando o fluxo de sólidos em suspensão ( $W_M$ ), obtidos de acordo com a Equação 4.6, sendo os mesmos apresentados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Fluxo específico de sólidos em suspensão -  $W_m$  (t/km<sup>2</sup>/ano) para as duas bacias hidrográficas. Fonte: Elaborado pelo autor

<b>Data de amostragem</b>	<b>Monjolo Grande</b>	<b>Jacutinga</b>
<b>27/01/2015</b>	78,84	53,66
<b>17/02/2015</b>	41,06	25,29
<b>20/03/2015</b>	19,93	19,05
<b>20/04/2015</b>	9,64	5,91
<b>15/05/2015</b>	7,01	11,39
<b>25/06/2015</b>	15,77	10,51
<b>19/07/2015</b>	1,75	4,38
<b>13/08/2015</b>	1,75	2,63
<b>24/09/2015</b>	2,30	4,82
<b>17/10/2015</b>	3,29	2,63
<b>30/11/2015</b>	5,69	8,87
<b>21/12/2015</b>	17,52	18,83
<b><math>W_m</math></b>	<b>17,05</b>	<b>14,02</b>
<b>Período seco</b>	<b>6,37</b>	<b>6,25</b>
<b>Periodo chuvoso</b>	<b>27,72</b>	<b>21,96</b>

Os sólidos totais em suspensão (> 45µm) tem sua origem associada à remoção de partículas das vertentes através do escoamento superficial. A Tabela 6.7 mostra que o fluxo

específico de sólidos em suspensão tanto na média ponderada anual (17,05 t/km<sup>2</sup>/ano), quanto nos períodos seco (6,37 t/km<sup>2</sup>/ano) e chuvoso (27,72 t/km<sup>2</sup>/ano) foi maior na bacia do Ribeirão Monjolo Grande que na bacia do Ribeirão Jacutinga. Entretanto, nota-se que há concentração maior de sólidos totais em suspensão na bacia do Ribeirão Jacutinga. O aumento da concentração de sólidos totais em suspensão deve-se à característica argilosa da bacia, onde as partículas uma vez adicionadas à drenagem superficial são transportadas em suspensão na coluna d'água. No entanto, por apresentar uma declividade menor, a velocidade da corrente é mais baixa, fazendo com que a vazão também seja menor em todos os períodos de amostragem, fato também observado na Tabela 5.1, resultando em um fluxo específico de sólidos totais em suspensão menor.

Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande a concentração de sólidos totais em suspensão é menor em todo o período de amostragem, como mostra a Tabela 5.1. A composição dos sólidos totais em suspensão que chegam à drenagem é quase totalmente constituída de partículas arenosas, as quais permanecem suspensas na coluna d'água somente em episódios de grande energia de transporte, ou seja, em períodos onde ocorre aumento da velocidade de escoamento e, conseqüentemente, aumento da vazão, fato que acontece nos meses chuvosos. Com a dissolução do cimento que une as partículas no arenito, os grãos de quartzo ficam mais friáveis e mais susceptíveis à remoção pelo escoamento superficial, de modo que o material erodido não é constituído somente pelos solos da bacia, mas também por material que não sofreu pedogênese. Isto é muito perceptível nas áreas localizadas na alta bacia, onde áreas de pastagem apresentam processos erosivos (sulcos e ravinas) e exibem perfis muito delgados de solo, muitas vezes já com a exposição da rocha alterada (Figura 6.3).

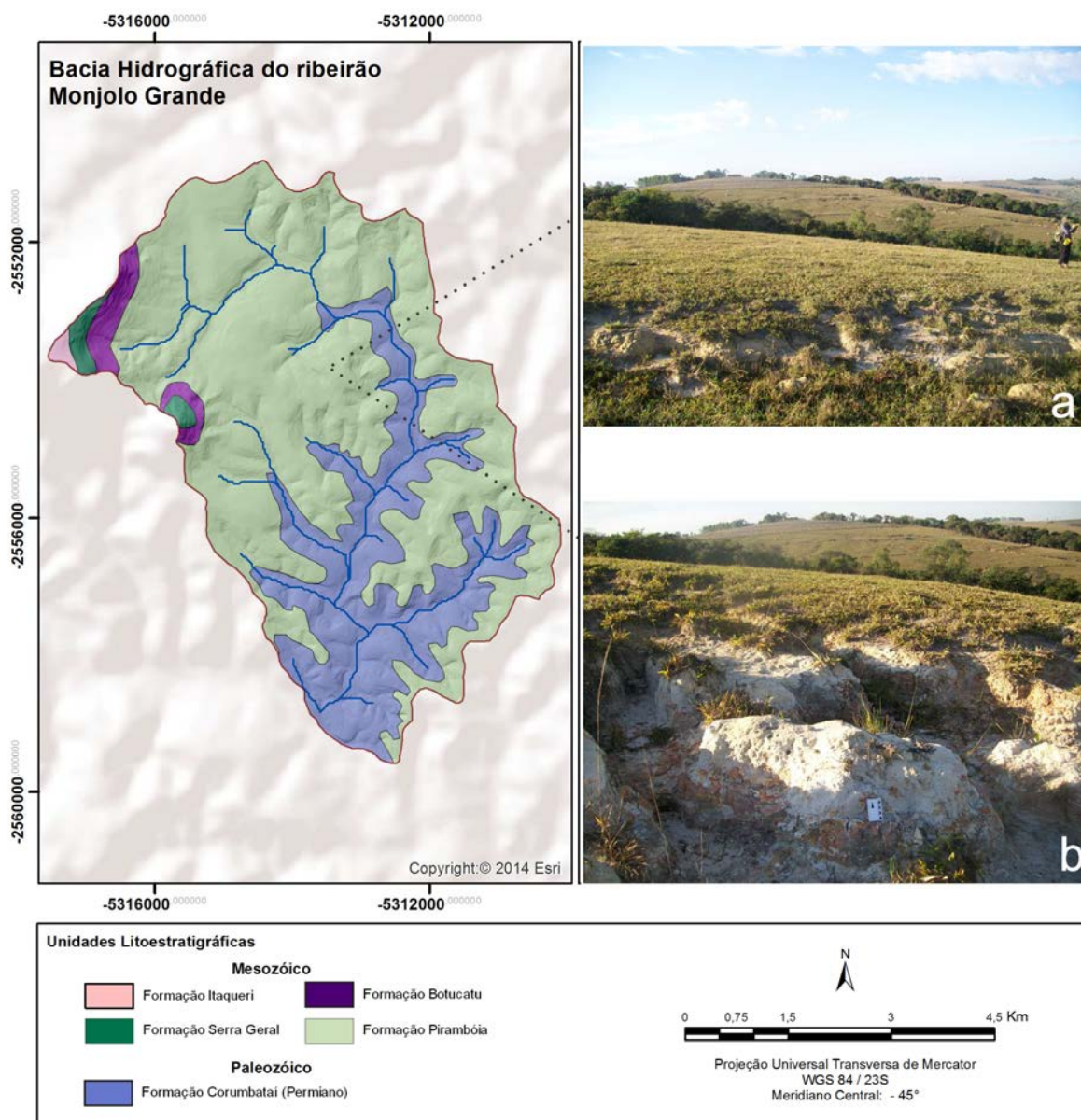


Figura 6.3 – Área de pastagem com Neossolo Quartzarênico (a) e na mesma vertente exposição de rocha alterada (arenito da Formação Pirambóia) (b).

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com a Equação 4.7, é possível obter a taxa de erosão mecânica associando os dados de fluxo específico de sólidos em suspensão com a densidade dos solos. A densidade média dos solos das bacias hidrográficas foi de  $1,2 \text{ g/cm}^3$  para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande e  $1,1 \text{ g/cm}^3$  para a bacia do Ribeirão Jacutinga. Assim, a taxa de erosão mecânica para as bacias estudadas está expressa na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Taxas de erosão mecânica (m/Ma) para as bacias do ribeirão monjolo Grande e Jacutinga.

Fonte: Elaborado pelo Autor

<b><i>Monjolo Grande</i></b>	
$v_M$	14,20
Período seco	5,31
Período chuvoso	23,10
<b><i>Jacutinga</i></b>	
$v_M$	11,66
Cenário Seco	5,79
Cenário Chuvoso	17,54

É possível observar pela Tabela 6.8 que a erosão mecânica promove a remoção de 14,2 e 11,6 m dos horizontes superficiais de solo e das camadas superiores de rocha a cada 1 milhão de anos, sendo que tais números refletem a quantidade de material removido sob as atuais condições de temperatura e para condições de uso da terra atuais. Estes valores médios se acentuam se levarmos em conta um possível cenário chuvoso, onde os valores de erosão mecânica tem um aumento de 55% e 64 % para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente. Em oposição, num cenário com diminuição das chuvas as taxas cairiam para 5,3 e 5,8 m/Ma, representando uma diminuição de aproximadamente 40% em relação ao valor médio obtido para o ano de 2012 para ambas as bacias hidrográficas.

Riffel *et al* (2015) obteve valores de erosão mecânica, ou taxa de desnudação do Segundo Planalto do Paraná, usando cristais hollandita e goethita datados pelo método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  e (U–Th)/He, respectivamente. Esta unidade corresponde à Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná, mesma unidade geomorfológica do presente trabalho. Os resultados indicaram que uma idade de exposição para as lateritas em torno de 35 Ma, com uma taxa de desnudação deste planalto variando entre 1 a 9 m/Ma, sendo o intemperismo mais intenso durante o Mioceno (17-8 Ma). As taxas atuais de erosão mecânica para as rochas das formações Pirambóia e Corumbataí são muito próximas, podendo-se assumir uma taxa de 12,9 m/Ma, valor ligeiramente superior ao obtido por Riffel et al. (2015), sugerindo que as taxas de desnudação da Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná no clima tropical das regiões sul e sudeste brasileiras flutuaram dentro de um pequeno intervalo de

magnitude entre o Mesozóico e o presente. Além disso, houve uma intensidade maior no uso da terra, fato que não pode ser desprezado para levar em conta o aumento das taxas de erosão mecânica encontrados no presente trabalho.

A comparação das taxas de desnudação modernas obtidas por estudos geoquímicos obtidos a partir de balanço de massa em pequenas bacias hidrográficas com as taxas de desnudação passadas (Mesozóicas ou Cenozóicas) inferidas a partir de estudos radiométricos, é provavelmente um exercício tênue. No entanto, os arenitos e argilitos são rochas excepcionalmente uniformes que cobrem vasta área geográfica. Como resultado, os dados permitem suportar comparação mais significativa do que os dados que envolvem uma variedade aleatória de litologias. A coincidência entre as taxas atuais e passadas sugerem que as condições de desnudação mantiveram-se relativamente estáveis no interior da Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná. Radionuclídeos cosmogénicos (por exemplo  $^3\text{He}$  ou  $^{21}\text{Ne}$ ) poderiam ser ainda utilizado para a investigação de processos de desnudação de longo prazo na Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná, proporcionando assim uma visão mais profunda das taxas de evolução da paisagem no interior desta Província Geomorfológica brasileira.

### **6.5 Comparação das taxas de erosão química e mecânica entre arenitos e argilitos na bacia do Rio Corumbataí**

Segundo Jahn (1954 e 1963; *apud* Penteado, 1974), o desenvolvimento das encostas segue dois processos que ocorrem concomitantemente, ou seja, os processos de intemperismo químico e de desnudação. Os primeiros agindo verticalmente e o segundo paralelamente nas vertentes. No caso do empate, ou seja, no valor igual entre processos de intemperismo químico e de desnudação (definidos neste trabalho como erosão química e mecânica, respectivamente) pode-se dizer que há um balanço de equilíbrio de desnudação, condição na qual o regolito permanece intocado em espessura ao longo do tempo Geológico. Tal equilíbrio se dá de acordo com:

$A > S+M$  = balanço negativo, com aumento da espessura do manto de intemperismo;

$A < S+M$  = balanço positivo, com diminuição do manto de intemperismo;

$A = S+M$  = balanço equilibrado de desnudação.

Onde:

A = adição do material ao regolito por intemperismo da rocha;

S = subtração do material do regolito por remoção de solo;

M = perda do material do regolito resultante do excesso carregado para baixo em relação à quantidade trazida de cima.

A comparação das taxas de erosão química e mecânica entre arenitos e argilitos mostra que estas taxas não estão em equilíbrio, conforme exibido na Tabela 6.9. Os valores médios indicam que as taxas de erosão mecânica são maiores que as taxas de erosão química em ambas as áreas de estudos, com a formação do front de intemperismo sendo mais lenta que a remoção dos solos superficiais. Para os arenitos e argilitos o balanço erosivo foi negativo em 12,6 e 10,8 m/Ma, taxas praticamente iguais. Mesmo em períodos com menor precipitação não há equilíbrio e nem muito menos prevalência da erosão química sobre a erosão mecânica, sendo que a erosão mecânica ainda é superior à erosão química em 4,07 e 4,9 m/Ma para os arenitos e argilitos, respectivamente. Em uma mudança climática que leve a um aumento das precipitações a taxa de erosão mecânica é superior à química em 21,2 e 16,7 m/Ma, respectivamente para arenitos e argilitos.

Tabela 6.9 – Diferença entre as taxas de erosão química e erosão mecânica (m/Ma) para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga. Fonte: Elaborado pelo autor

<b>Monjolo Grande</b>	
<b>Média</b>	-12,67
<b>Período seco</b>	-4,07
<b>Período chuvoso</b>	-21,27
<b>Jacutinga</b>	
<b>Média</b>	-10,84
<b>Período seco</b>	-4,93
<b>Período chuvoso</b>	-16,75

A Teoria do Equilíbrio Dinâmico, proposta inicialmente por Gilbert (1877) e ampliada por Hack (1960), se apoia na Teoria Geral dos Sistemas e considera o relevo um sistema aberto, com fluxos e trocas constantes de matéria e energia, sendo o relevo um produto de

uma competição entre a resistência dos materiais da crosta terrestre e o potencial das forças de desnudação, de modo que a mesma energia aplicada a litologias diferentes faz com que o rebaixamento da topografia ocorra de forma proporcional. As bacias hidrográficas estudadas têm usos da terra semelhantes e estão sob o mesmo regime climático (precipitação e temperatura), sendo a litologia o principal fator de diferenciação entre elas. Os resultados mostraram que apesar de valores de denudação próximos, há uma resistência maior ao rebaixamento da topografia em áreas com predominância de argilitos, não sendo possível afirmar portanto, que a bacia do rio Corumbataí esteja em equilíbrio dinâmico, visto que suas duas principais litologias apresentam resistências distintas à erosão mecânica.

## 7. CONCLUSÕES

O estudo das taxas de erosão química e mecânica consiste num dos temas fundamentais em geomorfologia, no tocante aos processos da dinâmica externa. A comparação destes processos em duas bacias de litologias distintas permitiu visualizar a intensidade dos processos citados e sua implicância na geração do modelado regional. Para a obtenção dessas taxas utilizou-se métodos geoquímicos das águas fluviais e pluviais, bem como a geoquímica das rochas e produtos de sua alteração.

Em relação aos objetivos propostos:

Qual a influencia das águas pluviais no fluxo anual de elementos/compostos?

As entradas de águas fluviais na composição das águas das bacias representa cerca de 13% na composição das águas superficiais na bacia do ribeirão monjolo grande e 30% no ribeirão Jacutinga . As águas fluviais das bacias estudadas foram classificadas geoquimicamente como mistas em relação aos cátions, tendendo a uma maior concentração de cálcio como principal cátion dissolvido, e bicarbonatadas em relação aos ânions, devido ao elevado teor de alcalinidades. As águas de chuva indicaram a seguinte deposição atmosférica:  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^+ > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Mg}^+ > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{PO}_4^{3-}$  para a bacia do ribeirão Monjolo Grande e  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$ . A composição das águas fluviais se insere no domínio do intemperismo, segundo classificação obtida através do diagrama de Gibbs, onde os elementos adicionados às águas são oriundos em sua maioria da alteração das rochas.

Foi possível identificar que ambas as bacias possuem suas águas fluviais em acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357/2005, que versa sobre a qualidade dos corpos d'água em função de seus usos, classificando ambas as bacias como Classe 2, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; a proteção das comunidades aquáticas; a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e a aquicultura e a atividade de pesca.

Quais são os principais processos de intemperismo químico que ocorrem nos arenitos e argilitos?

As bacias hidrográficas estão localizadas dentro do domínio da hidrólise parcial das rochas, associadas a processos intempéricos de monossilificação, indicados pelo índice  $R_E$  de 2,1 e

2,4 respectivamente para as bacias do ribeirão Monjolo Grande e Jacutinga, ambas tendendo à formação da caulinita.

Qual o consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o processo água-rocha/solo?

O consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o processo de interação água-rocha/solo obteve valores muito parecidos para ambas as bacias hidrográficas, ou seja,  $0,37 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano e  $0,45 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano para as bacias dos ribeirões Monjolo Grande e Jacutinga, respectivamente, indicando que o consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo durante o intemperismo químico dos arenitos e argilitos sob as mesmas condições climáticas apresenta comportamento semelhante. Apresentando a bacia do Rio Corumbataí o consumo médio de CO<sub>2</sub> atmosférico/solo pelas nas reações de intemperismo é de  $0,4 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano, visto que o valor médio entre arenitos e argilitos ( $0,44 \cdot 10^6$  mol/km<sup>2</sup>/ano) é também um valor muito próximo ao encontrado para rochas basálticas sob as mesmas condições climáticas.

Quais as taxas de erosão química e mecânica para arenitos e argilitos?

Após a quantificação dos fluxos elementares nas águas fluviais descontados nas águas de chuva a bacia do Ribeirão Monjolo Grande apresentou um fluxo específico de elementos dissolvidos ( $w_q$ ) de 46,7 t/km<sup>2</sup>/ano em comparação com o Ribeirão Jacutinga cujo fluxo específico foi de 19 t/km<sup>2</sup>/ano. Utilizando o valor de  $w_q$  e dos dados de densidade das rochas, foram obtidas as taxas de erosão química ( $v_q$ ), que determina a velocidade média de formação do perfil de intemperismo, em 1,53 e 0,83 m/Ma para arenitos e argilitos, respectivamente.

O fluxo específico de sólidos finos em suspensão ( $w_M$ ) foram calculados em 17,05 t/km<sup>2</sup>/ano em arenitos e 14,02 t/km<sup>2</sup>/ano em argilitos. Usando a densidade média dos solos das bacias (1,2 g/cm<sup>3</sup>), obteve-se a taxa de erosão mecânica ( $v_m$ ) foi calculada em 14,20 m/Ma para arenitos e 11,66 m/Ma para argilitos. Se levarmos em conta o conceito de Equilíbrio de Desnudação, ocorre na bacia do Corumbataí (em arenitos e argilitos) um balanço negativo de Desnudação, com a diminuição do perfil de intemperismo.

Há interferência climática nas taxas de erosão química e mecânica?

Sim, apesar da variação climática proporcionar um aumento na taxa de erosão química de alguns centímetros a cada milhão de ano. Na bacia do ribeirão Monjolo Grande, imaginando a ocorrência de um clima mais seco, as taxas de erosão química diminuiriam para 1,24 m/Ma, ao passo que numa mudança climática que tendesse para um clima mais chuvoso essas taxas aumentariam para 1,82 m/Ma. Já na bacia do ribeirão Jacutinga, esta diferença é muito pequena, apresentando uma variação de 4 cm em um milhão de ano devido a possíveis variações climáticas.

Em relação às taxas de erosão mecânica a variação da componente climática é mais incisiva na remoção das camadas superficiais do perfil de alteração. Em um ano mais chuvoso, a intensidade da erosão mecânica seria de 23 m/Ma para a bacia do ribeirão Monjolo Grande e 17,54 m/Ma para a bacia do ribeirão Jacutinga. Ao contrário, em um ano mais seco, as taxas passariam para 5,31 m/Ma e 5,79 m/Ma para a bacia do ribeirão Jacutinga.

As taxas atuais de denudação podem ser comparadas com as taxas passadas nesta parte do Brasil?

As bacias estudadas se localizam na Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná uma área formada por processos erosivos atuantes sobre sedimentos depositados próximos à borda de uma bacia sedimentar. Os resultados do presente trabalho mostram que as taxas de desnudação atuais são muito próximas às taxas passadas (9 m/Ma) para o Segundo Planalto do Paraná, a qual é a mesma unidade corresponde á Depressão Periférica da borda leste da Bacia do Paraná. Assim, sugere-se variaram muito pouco para esta Província Geomorfológica desde o Mesozóico e o Presente. Assim, os dados deste trabalho podem corroborar para a atualização de modelos propostos para a evolução da Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná e para a construção de novas propostas da evolução atual deste tipo de relevo.

## REFERÊNCIAS

AB SABER, A.N. Conhecimento sobre as flutuações climáticas do quaternário no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**. V.6, PP. 41-48. 1957.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p.167-263, 1964.

ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas: Rio Claro, 2005.

APPLEBY, P.G.; OLDFIELD, F. The calculation of  $^{210}\text{Pb}$  dates as suming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment. **Catena**, v. 5, p. 1-8, 1978.

BAIND,C.; ROE, M. J.; DUTHIE, D. M. L.; THOMSON, C. M. The influence of mineralogy on weathering rates and processes in an acid-sensitive granitic catchment. **Applied Geochemistry** , v.16, n. 7-8, p. 931-937, 2001.

BASKARAN, M. AND NAIDU,  $^{210}\text{Pb}$ -derived chronology and the fluxes of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  isotopes into continental shelf sediments, East Chukchi Sea Alaskan Arctic. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 4435-4448, 1995.

BERNER E.K.; BERNER R.A. **Global environment**. Water, air and geochemical cycles. Prentice Hall, 1996, 367p.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis – Part 1: Physical and mineralogical methods**. 2nd. ed. Madison: American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375.

BOEGLIN, J. L.; PROBST, J. L. Physical and chemical weathering rates and  $\text{CO}_2$  consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin. **Geochemical Geology**, v. 148, n.3-4, p. 137-156, 1998.

BONOTTO, D.M.; MANCINI, L.H. Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). **Geochimica Brasiliensis**. v.6, n. 2, p. 153-167, 1992.

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**,v. 65, p. 474-481, 2007.

BORTOLETTO JUNIOR, M.J. **Balço de alteração e erosão química na bacia hidrográfica do rio Corumbataí**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1999.

BORTOLETTO JUNIOR, M.J. **Características hidrogeoquímicas e processos erosivos mecânicos e químicos nas bacias de drenagem dos rios Tiete e Piracicaba**. 2004. Tese

(Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

BRAGA, B. (editor). Introdução à Engenharia Ambiental. 1ª Edição. São Paulo. 2002

CAETANO-CHANG, M.R.; WU, F.T. Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no centro leste paulista. **Geociências**. Rio Claro. v.22, p. 33-39. 2003

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2008.

CEAPLA/UNESP. **Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí**. Rio Claro, 2010. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas.swf>> Acesso em: 20 jan. 2011.

CLOW, D.W.; DREVER, J.I. Weathering rates as a function of flow through an alpine soil. **Geochemical Geology**, v. 132, n.1-4, p. 131-141. 1996

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo, 2009. Disponível em [www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf) acessado em 13 de abril de 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB); AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Brasília, 2011. Disponível em : <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>. Acessado em 10/02/2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e Diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano>. Acesso em 26/04/2010.

CONCEIÇÃO, F. T. **O método do desequilíbrio isotópico do urânio aplicado no estudo do intemperismo na bacia do Rio Corumbataí (SP)**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 144p. 2000.

CONCEIÇÃO, F. T., BONOTTO, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n.1, p. 1-21, 2002.

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**, v. 44, 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**, v.19, n.4, p.575-591, 2004.

CONCEIÇÃO, F. T. ; BONOTTO, D. M. ; Jiménez-Rueda, J. R. ; ROVEDA, J. A. F. . Distribution of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in soils and sugar cane crops at Corumbataí river basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 67, n° 6, p. 1114-1120, 2009.

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  $\text{CO}_2$  consumption of Paraná flood basalts in São Paulo state, Brazil. *Geomorphology*, v. 233,

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1981.

DANELON, O.M.; MOREIRA-NORDEMANN L. M. Ocorrência natural e antropogênica de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na bacia do Rio Quilombo (Cubatão - SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v:21, p:96-101, 1991.

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  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio of seawater. **Earth and Planetary Science Letters** 188, 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** v. 202 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. **C. R. Geoscience**, v. 33 p. 1141-1160.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 1988

FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e Cuestas Arenito-Basálticas**: Regiões de São Carlos, São Paulo e Piracicaba. 2000. Tese. 222 f. (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FERNANDES, A. M. **Características hidroquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP**: processos erosivos mecânicos e químicos. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

GALLOWAY J. N. et al. The composition of precipitation in remote areas of the world. **Journal of Geophysical Research**, v:87, p:8771-8786, 1982.

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.

GAILLARDET, J. ; P.; DUPRÉ, B. ALLÈGRE. ; NÉGREL, P. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. **Chemical Geology**, v.142 p. 141-173. 1997.

GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; LOUVAT, P.; ALLÈGRE, C.J. Global silicate weathering and CO<sub>2</sub> consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. **Chemical Geology**, v.159 p. 3-30. 1999.

GAILLARDET, J.; MILLOT, R.; DUPRÉ, B. Chemical denudation rates of the western Canadian orogenic belt: the Stikine terrane **Chemical Geology**, v. 201 p.257-279. 2003.

GAMA JR., E. - 1979 - A sedimentação do Grupo Passa Dois (Exclusive Formação Irati) : Um modelo geomórfico. Revista Brasileira de Geociências. 9 (1) : 1-16.

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, 1967, 67p.

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 American Bulletin**, v. 78, p. 1203-1232, 1967.

GILBERT, G. K. **The Geology of the Henri Mountains.** Washington: United States Geographical and Geological Survey. 1877.

GRASBY, S. E.; HUTCHEON, I.; KROUSE, H.T. The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada. **Applied Geochemistry**, v. 15, n.7, p. 439-454. 2000.

HAAN, C.T.; BARFIELD, B. J; HAYES, J.C. **Design hidrology and sedimentology for small catchments.** Academic Press – USA. 1994.

HACH. **Water Analysis Handbook.** 2<sup>nd</sup> ed. Hach Company, Loveland, Colorado, USA. 1992.

HACK, J.T. Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions. **American Journal of Science**, v. 258-A, p. 80-97. New Haven, Conn, 1960.

HAMMITT, W.E.; COLE, D.N. **Wildland recreation: ecology and management.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

HERMES L.C.; SILVA A. DE S. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 55p.

HODSON M.E.; LANGAN S.J.; WILSON M.J. A sensitivity analysis of the PROFILE model in relation to the calculation of soil weathering rates. **Applied Geochemistry**, v. 11, p. 835-844, 1996.

HUH, Y., EDMOND, J.M. The fluvial geochemistry of the rivers of Eastern Siberia: III. Tributaries of the Lena and Anabar draining the basement terrain of the Siberia Craton and the Trans-Baikal Highlands. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 63, 967–987. 1999.

INÁCIO, A.; SANTOS, M. J. Z. Características climáticas de Rio Claro. **Boletim de Geografia Teorética**, v.18, n. 35-36, p. 87-104. 1988

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981.

JANH, A. Importance of soil erosion for the evolution of slopes in Poland. **Slope. Com. Rep.** pp. 229-238. 1963.

JHONSON, M.N.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; PIERCE, R.S. Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.32, n.5, p.531-538, 1968.

KOPTSIK G.; TEVEDAL S.; AAMLID D.; VENN K. Calculations of weathering rate and soil solution chemistry for forest soils in the Norwegian-Russian border area with the PROFILE model. **Applied Geochemistry**, v. 14, p. 173-185,1999.

LAND, M.; INGRI, J.; ÖLANDER, B. Past and present weathering rates in northern Sweden. **Applied Geochemistry**, v. 14, n.6, p.761-774, 1999.

LANDIM, P. M. B. O Grupo Passa Dois (P) na bacia do Rio Corumbataí (SP) , **Bol. Div . Geol . Min .** , v.252. p. 1-103. DNPM, Rio de Janeiro , 1970.

LANGAN, S.J.; REYNOLDS B.; BAIN D.C. The calculation of base cations release from the chemical weathering of soils derived from Paleozoic greywackes and shales in upland U.K. **Geoderma**, v. 69,p. 275-285, 1996.

LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; KRUSCHE; AYERS, G.P.; FERRAZ, E.S.B.; BALLESTER, M.V. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v:35, p:4937-4945, 2001.

LERMAN, A.; WU, L.; MACKENZIE, F.T. CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in global carbon balance. **Marine Chemistry**, v.106, p. 326-350. 2007.

LETKEMAN, L. P.; TIESSEN, H.; CAMPBELL, C. A. Phosphorus transformations and redistribution during pedogenesis of western Canadian soils. **Geoderma**, **71**:201-218.1996.

LOUVAT, P. Etude géochimique de l'érosion fluviale d'îles volcaniques à l'aide des éléments majeurs et traces. **Thèse de l'Université Paris 7**, 322 pp. 1997

LOUVAT, P., ALLÈGRE, C.J. Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry: Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 61, 3645–3669. 1997.

LOUVAT, P., ALLÈGRE, C.J. Riverine erosion rates on Sao Miguel volcanic island, Azores archipelago. **Chemical Geology** 148, 177–200. 1998.

MATHIEU, D.; BERNAT, M.; NAHON, D. Short-lived U and Th isotopes distribution in a tropical laterite derived from granite (Pitinga River basin, Amazonia, Brazil): Application to assessment of weathering rate. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 136:703-714. 1995.

MEYBECK, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved load. **American Journal of Science** 287, 401–428.1987

MELLO W.Z. Precipitation Chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**, v:114, p:235-242, 2001.

MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E.C.; PIRES, M.; FACHEL, J. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. **Atmospheric Environment**, v:38, p:1641-1656, 2004.

MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E.C.;WIEGAND,F.; MACHADO, A.C.M.;SANCHEZ, J. Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil. **Atmospheric Environment**, v:39, p:1829-1844, 2005.

MILANI E.J.; FRANÇA A.B.; SCHNEIDER R.L. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobrás. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1994, Vol. 8, n. 1, pp. 69-82.

MILLIMAN, J.D; MEADE, R.H. Word-wide delivery of river sediment to the oceans. **The Journal of Geology**, v.91, n.1, p. 1-21, 1983.

MILLOTT, R.; GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, J.C.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*. V.196, n. 1-2. P. 91-98. 2002.

MOLDAN, B.; CERNÝ, J. **Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research**. Chichester. John Wiley & Sons. 1994.

MOREIRA-NORDEMANN, L.M. Salinity and weathering rate of rocks in a semi-arid region. **Journal of Hydrology**, v. 71, 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**, v. 44,p.103-108, 1980.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD P. Precipitação úmida comparativa em duas cidades brasileira. **Anais do VII Congresso Argentino de Meteorologia e VII Congresso Latino e Ibero-Americano de Meteorologia**, Buenos Aires, Argentina, 1996.

MOREIRA-NORDEMANN L.M.; GIRARD P.; RÉ POPPI N. Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande – MS. **Revista Brasileira de Geofísica**, v:15, p:35-44, 1997.

MORTATTI, J. **Erosão na Amazônia : processos, modelos e balanços**. 1995. Tese (Livre Docência) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1995.

MORTATTI, J. ; PROBST, J.L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO<sub>2</sub> uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, v. 197, n.1-4, 2003.

MORTATTI, J.; PROBST, J.L.; BORTOLETTO JUNIOR, M.J. Piracicaba river basin: mechanical and chemical erosions. **Geociências**, v.22, n.1, 2003.

MORTATTI, J.; PROBST, J.L.; FERNANDES, A.M.; MORTATTI, B.C.; OLIVEIRA, H. Influence of discharge on silicate weathering dynamics of the Tietê river basin: major cations and dissolved silica approach. **Geochimica Brasiliensis**, v.22, n.1, p. 001-012. Rio de Janeiro, 2008.

MORTATTI, J.; VICTORIA, R.L.; TARDY, Y. Balanço de Alteração e Erosão Química na Bacia Amazônica. **Geochimica Brasiliensis**. v.22, n.1, p.15-26. Rio de Janeiro, 2008.

NARDY, A.J.R., ENZWEILER, J., BAHIA, F.O., OLIVEIRA, M.A.F., PENNEREIRO, M.A.V.. Determinação de elementos maiores e menores em rochas silicáticas por espectrometria de fluorescência de raios-X: Resultados preliminares. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Brasília.pp. 346–348. 1997.

NÉGREL, P.; ROY, S. Chemistry of rainwater in the Massif Central (France): a strontium isotope and major element study. **Applied Geochemistry**, v:13, p:941-952, 1998.

NESBITT, H.W., YOUNG, G.M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 48, 1523–1534. 1984

NESBITT, H.W., YOUNG, G.M. Formation and diagenesis of weathering profiles. **Journal of Geology** 97, 129-147. 1989.

NKOUNKOU, R.R. PROBST, J.L., Hydrology and geochemistry of the Congo River system. In: **Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Part 4**. DEGENS, E.T., KEMPE, S. and WEIBIN, G., Editors. SCOPE/UNEP Sond. 64, Mitt. Geol-Paläont. Inst. Univ. Hamburg. 1987.

OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; FÁVARO, D. I. T.; BOULET, R. Soils as an important sink for mercury in the Amazon. **Water, Air and Soil Pollution**, 26:321-337. (2001).

OLIVEIRA, S. M. B.; LARIZATTI, J. H.; FÁVARO, D. I. T. Comportamento do mercúrio e outros elementos-traço em solos lateríticos da província aurífera do Tapajós. **Geochimica Brasiliensis**, v. 16 (1):23-36. (2002).

PACES, T. Rates of weathering and erosion derived from mass balance in small drainage basins. In: **Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals**. Academic Press Inc., Orlando, 1986.

PACHECO, F.A.L, WEIJDEN, H.V. Mineral weathering rates calculated from spring water data: a case study in an area with intensive agriculture, the Morais Massif, northeast Portugal. **Applied Geochemistry**, v.17, n.5, p. 583-603, 2002.

PEDRO, G. Essai sur la caracterisation géochimique des différents processus minéraux résultant de l'alteration des roches superficielles cycles aluminosiliciques. **CR. Acad. Sc. Paris**, 261. p. 1828-1831. 1966.

PEDRO G.; SIEFFERMANN G. *Weathering of rocks and formation of soils*. Review in Modern Problems of Geochemistry. UNESCO, 1979, pp. 39-55.

PELICO, A. F. et al. Integrated and sequential bulk and wet-only samplings of atmospheric precipitation in Londrina, South Brazil (1998-2002). **Atmospheric Environment**, v:40, p:6827-6835, 2006.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Biblioteca Geográfica Brasileira. Rio de Janeiro, 1974.

PEREIRA, L.H. **Caracterização Da Erosão Hídrica Laminar Do Solo Em Uma Bacia Hidrográfica Com Base Na Malha Fundiária, Por Meio De Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento E Modelagem**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2010.

Pinto C.S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 2.ed., São Paulo, Oficina de textos, 355 p. 2002

PINTO, S.A.F. (coordenador) **Avaliação da erosão hídrica, química e mecânica entre arenitos e argilitos: uma contribuição a evolução geomorfológica da bacia do rio Corumbataí (SP)**. Projeto de auxílio à pesquisa. Processo Fapesp 2012/ 19935-7.

PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of wateranalyses. **Transactions American Geophysical Union**, v. 25, p. 914-928, 1944.

PRADO, H.; OLIVEIRA, J.B & ALMEIDA, C.L.A. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. Escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônômico, 1981.

PROBSTY, J.L.; AMIOTTE-SUCHET, P.,TARDY, Y. Global continental erosion and fluctuations of atmospheric CO<sub>2</sub> consumed during the last 100 years. In: KHARAKA, Y.K., MAEST, A.S. **Water-rock interation**. Rotterdam, A.A. Balkema, 1992.

PROBST, J.L. **Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale**. Sci. Géol. Mém., 94, 1992. 161 p

RAD, S.; LOUVAT, P.; GORGE, C.; GAILLARDET, J.; ALLÈGRE, C.J. River dissolved and solid loads in the Lesser Antilles:New insight into basalt weathering processes. **Journal of Geochemical Exploration** v.8, p. 308-312. 2006.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995.

RAVICHADRAN, M.; BASKARAN, M.; SANTISCHI, P. H.; BIANCHI, T. S. History of trace metal pollution in Sabine-Neces Estuary, Beaumont, Texas. *Environm. Sci. Techn.*, **29**:1495-1503.1995.

RIFFEL, S.B.; VASCONCENLOS, 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 Second Paraná Plateau and its ruiniform surfaces features, Paraná, Brazil. **Geomorphology**. V. 233, p. 52-63. 2015

ROBBINS, J.A. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes. In: Nriagu, J.O. (ed), **Biochemistry of lead**, Elsevier, Amsterdam, 1978.

ROCHA, O.; PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: ESPÍNDOLA, E.L.G. (org.). **A bacia hidrográfica do rio Monjolino: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. Ed.Rima. São Carlos 2000.

ROSS, J.L.S. Unidades do Relevo Brasileiro. In **Geografia do Brasil**, ROSS, J.L.S. (ORG.) pg. 51, 1ª Ed. Edusp. São Paulo, 1996.

ROY . S.; GAILLARDET, J.; ALLÈGRE, C.J. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine river, France: Anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Vol. 63, No. 9, pp. 1277–1292, 1999

SANTOS, C.M. **Avaliação da taxa de remoção de material dissolvido devido ao intemperismo químico da formação Serra Geral na bacia do Ribeirão Preto**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Geociências e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 2009.

SANUSI, A.; WORTHAM, H.; MILLET, M.; MIRABEL, P. Chemical composition of rainwater in eastern France. **Atmospheric Environment**, v.30, p.59-71, 1996.

SÃO PAULO, Lei 11.241. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana de açúcar. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=217>. Acessado em 10/01/2012.

SARDINHA, D. S.; CONCEIÇÃO, F. T.; CARVALHO, D. F.; CUNHA, R.; SOUZA, A. D. G. Impactos do uso público em atrativos turísticos naturais do município de Altinópolis (SP). **Geociências**, v.26, n.2, p.161-172, 2007.

SARDINHA, D.S., BONOTTO, D.M., CONCEIÇÃO, F.T., Weathering rates at Alto Sorocaba basin, Brazil, using U-isotopes and major cations. **Environmental Earth Science** 61, 1025–1036. 2010.

SARDINHA, D.S. **Taxa de intemperismo químico e balanço anual de cátions e anions na bacia do rio Jaú (SP)**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP) 2012.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L. **Chemistry for sanitary engineers**. McGraw -Hill, New York, 1967, 518 p.

SCHNEIDER, R. F. ,MUHLMANN, H. E. , MEDEIROS, R. A. , DAEMON, R. F. NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigrafica da Bacia do Paraná. In: Congresso brasileiro de geologia, 1974. **Anais SBG**. v .1, n. 28, p. 41-65. Porto Alegre, 1974.

SCHULZ, M.S.; WHITE, A.F. Chemical weathering in a tropical watershed, Luquilo Mountains, Puerto Rico III: Quartz dissolution rates. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Vol. 63, No. 3/4, pp. 337–350, 1999

SEMHI, K.; SUCHET, P.A.; CLAUER, N.; PROBST, J.L. Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. **Applied Geochemistry**, v.15, n.6, p. 865-878, 2000.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E. Hydrossedimentological dynamic on Água Fria Watershed. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50 n. 5. Curitiba, 2007.

SINEX, S. A.; WRIGHT, D. A. Distribution of trace metals in the sediments and biota of Chesapeake Bay. **Marine Pollution Bulletin**, 19:425-431. 1998.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Aspectos da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1973. **An. XXVII Cong. Bras. Geol.** V. 1, p. 243-256. Porto Alegre, 1973.

SOUZA, P. S. et al. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Química Nova**, v:29, p:471-476, 2006.

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**, v. 86, n. 10, 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**, v. 88, n. 14, p. 9671-9688, 1983.

STÜMER, S.L.K.; **Infiltração de água em neossolos regolíticos do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2008.

SUGUIO, K. Geologia sedimentar. São Paulo, Edgard Blücher, 2003. 400p

SVERDRUP H.; WARFVINGE P. Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model PROFILE. **Applied Geochemistry**, v. 8, p. 272- 282, 1993.

TARDY, Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, v.7, p. 253-271, 1971.

TARDY, Y. Le cycle de l'eau. Climats, paléoclimats et géochimie globale. Paris, Masson, 1986. 338 p

TEIXEIRA W.; TOLEDO M.C.M.; FAIRCHILD T.R.; TAIOLI F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos, 1º edição, 2000, 568p.

TODD, D.K. **Groundwater Hydrology**, John Wiley & Sons, New York, 1980.

TUCCI C.E.M. **Hidrologia**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, pp. 443-484.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Paulo: Editora RIMA, 2º edição, 2005, 248p.

VELBEL, A.M.; PRICE, J.R. Solute geochemical mass-balances and mineral weathering rates in small watersheds: Methodology, recent advances, and future directions. **Applied Geochemistry**, v. 22, n.8, p. 1682-1700, 2007.

VIADANA, A.G. A teoria dos refúgios florestais aplicada ao estado de São Paulo. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro, 2000.

VIERS, J.; OLIVA, P.; DANDURAND, J.L.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J. Chemical weathering rates, CO<sub>2</sub> consumption, and control parameters deduced from the chemical composition of rivers. **Treatise on Geochemistry. V. 5 Surface and Ground Water, Weathering, and Soils**. 2007.

WEIJDEN, H.V.; PACHECO, F.A.L. Hydrogeochemistry in the Vouga River basin (central Portugal): Pollution and chemical weathering. **Applied Geochemistry**, v. 21, n.4, p. 580-613, 2006.

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

WHITE, A.F., BLUM, A.E., SCHULZ, M.S., VIVIT, D.V., STONESTROM, D.A., LARSEN, M., MURPHY, S.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** 62, 209–226. 1998.

WILLIAMS M. R.; FISHER T. R.; MELACK J. M. Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon Brazil. **Atmosphere Environment**, v:31, p:207-217, 1997.

WILSON T. R. S. Salinity and the major elements of sea water. In: Riley J.P.; Skirrow G. **Chemical Oceanography**, 2º edição, Academic, Orlando, Flórida, p:365 – 413, 1975.

XU, Z.; LIU, C.Q. Water geochemistry of the Xijiang basin rivers, South China: Chemical weathering and CO<sub>2</sub> consumption. **Applied Geochemistry**, v.25, n.10, p. 1603-1614, 2010.

YBERT., J.P; BISSA, W.M.;CATHARINO, E.L.M.; KUTNER, M. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. V. 189, p. 11-24. 2003.

ZAINE, J. E. **Geologia da formação Rio Claro na folha de Rio Claro (SP)**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.90pg. (Dissertação de Mestrado). 1994.

ZAVATINI, J. A.; CANO, H. Variações do ritmo pluvial na bacia do rio Corumbataí \_ SP. **Boletim de Geografia Teorética**, v.23, p.215-240, 1993.