

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA,
BALANÇO DE MASSA E A ICTIOFAUNA DE
QUATRO MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO
SISTEMA PARAÍBA DO SUL E SUA
CORRELAÇÃO COM A GEOMORFOLOGIA
REGIONAL.**

JEFERSON DE MORAES ROCHA MEDEIROS FREITAS LOURENÇO

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Manoel de Souza Braga

**Tese de Doutorado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em
Geologia Regional para obtenção do
título de doutor em Geologia Regional.**

Rio Claro (SP)

2015

551.4a
L892p Lourenço, Jeferson de Moraes Rocha Medeiros Freitas
Parâmetros físicos e químicos da água, balanço de massa e a ictiofauna de quatro microbacias hidrográficas do Sistema Paraíba do Sul e sua correlação com a geomorfologia regional / Jeferson de Moraes Rocha Medeiros Freitas Lourenço. - Rio Claro, 2015
79 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição
Coorientador: Francisco Manoel de Souza Braga

1. Geomorfologia. 2. Balanço de massa. 3. Ictiofauna. 4. Microbacias hidrográficas. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão examinadora

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição (orientador)

Prof. Dr. Roberto Goitein

Prof.^a Dr.^a Andréia Medinilha Pancher

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

Discente: Jeferson de Moraes Rocha Medeiros Freitas Lourenço

Rio Claro, 19 de Dezembro de 2014

Resultado: Aprovado

AGRADECIMENTOS

Ao **Estado brasileiro**, pela concessão da bolsa de pesquisa de doutorado, através do **CNPq**.

Ao programa de pós-graduação em **Geociências da UNESP de Rio Claro**, ao **Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN)**, ao **Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA)** e ao **Departamento de Zoologia** pelo suporte logístico que foi de grande importância para a realização desta pesquisa.

Aos meus **pais**, pelo apoio financeiro que foi de grande importância para a realização desta pesquisa e minha permanência em Rio Claro e a minha **mãe**, professora de português, pela ajuda na revisão da língua portuguesa.

À minha **tia Eunice**, professora de português, pela revisão da língua portuguesa e a todos os **demais familiares** que, de forma direta ou indireta, me apoiaram durante todos estes anos que permaneci em Rio Claro.

À minha esposa **Larissa Lucciane Volpe**, pela ajuda com o programa ArcGis. Agradeço também sua paciência, compreensão, conselhos e ajuda em momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. **Fabiano Tomazini da Conceição**, orientador desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. **Francisco Manoel de Souza Braga**, co-orientador desta pesquisa.

Aos amigos doutores em Biologia **Eduardo Magalhães Borges Prata e Cristina da Silva Gonçalves**, pela inestimável ajuda com o capítulo que trata da ictiofauna e análises estatísticas da pesquisa, além da grande amizade e ajuda em momentos difíceis. Ao amigo, doutor em biologia, **César Cestari**, pelos bons conselhos e amizade.

À Prof.^a Dr.^a **Andréia Medinilha Pancher**, pelas sugestões na banca de qualificação, que foram muito úteis para a melhoria da qualidade da pesquisa.

Ao Prof. Dr. **Edson José Vasques e toda a sua família**, pela amizade, todas as ajudas dadas a mim e minha esposa, bom exemplo como professor, pesquisador e pessoa que sempre me inspiraram.

À Prof.^a Dr.^a **Maria da Conceição F. Freitas Tandel** pela ajuda com a análise estatística dos dados.

Ao Prof. Dr. **Bruce Nelson** pela oportunidade de cursar sua excelente disciplina no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), conselhos e sugestões a minha tese.

À Prof. Dr.^a **Magda Adelaide Lombardo**, pela grande amizade e bons conselhos durante todos os anos que estive em Rio Claro.

Ao Prof. Dr. **Adler Guilherme Viadana**, meu orientador de TCC e mestrado pela paciência, confiança e ensinamentos que me despertaram para o mundo da ciência.

Ao Prof. Dr. **Roberto Goitein**, pelos ensinamentos, paciência, confiança, amizade e também por ter sido o primeiro docente do departamento de Zoologia a me abrir as portas.

Aos **demais professores do programa de pós-graduação em Geociências da UNESP de Rio Claro**, com quem muito aprendi e me enriqueci do ponto de vista pessoal e intelectual.

Ao **Mateus Vidotti Ferreira** (pós-graduação da Geologia da UNESP), pela ajuda com o programa de computador ArcGis.

Ao secretário do DEPLAN **Bira** e à secretária da pós-graduação em Geociências **Rosangela**, pelo esclarecimento de dúvidas referentes às questões burocráticas.

Ao doutorando em Geociências **Eder** e a **Sueli** pela ajuda fornecida no início do processamento dos dados físicos e químicos da água, realizados no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA).

A todos os **amigos e colegas do DEPLAN (alunos, funcionários e professores)**, pela amizade e ajuda.

Ao Doutor em Biologia **Pedro de Moraes Andrade**, pela amizade dos velhos tempos, críticas e sugestões na minha banca de mestrado e pela produção dos dados da ictiofauna da microbacia do ribeirão Grande, utilizados nesta pesquisa.

A **Giuliana Rondineli, Alberto Carmassi, Fábio Cop Ferreira, Henrique Giacomini e Mariana Bissoli de Moraes**, pela ajuda em algumas das coletas de campo da ictiofauna. Especialmente a **Giuliana Rondineli e Alberto Carmassi**, pelo árduo trabalho de processamento dos dados da ictiofauna em laboratório.

Aos demais **amigos e colegas**, alunos e ex-alunos do curso de graduação em Ciência da Computação, Biologia, Ecologia, Geografia e Geologia e alunos e ex-alunos dos programas de pós-graduação em Geociências, Biologia e Geografia, pela amizade e ajudas fornecidas.

À Fazenda **Nova Gokula** e sua comunidade **Hare Krishna** por fornecer livre acesso às suas dependências e permitir a instalação de um pluviômetro e um coletor do tipo “bulk” (deposição seca e úmida) de águas pluviais em suas terras. E a toda a família do **Sr. José**, por permitir livre acesso à sua propriedade e por permitir a instalação de um segundo pluviômetro e coletor do tipo “bulk”.

Ao **José Roberto** e à **Sueli** por ceder o espaço físico do “Núcleo de Educação Ambiental do ribeirão Grande”, que serviu como base de apoio logístico nas coletas de campo a ictiofauna.

À **Carol**, professora de inglês e tradutora, pela revisão dos “abstract”.

Aos amigos e colegas do **Brazilian Jiu-Jitsu** (especialmente aos meus mestres **Simone Pessoa** e **Cristiano Barros**) que foram e são fundamentais para a manutenção e aperfeiçoamento da minha saúde física e psicológica.

Agradeço também, e peço desculpas, a todas as pessoas que me ajudaram direta ou indiretamente na pesquisa e que, infelizmente, por falta de espaço, não citei.

As pequenas e grandes ajudas que recebi destas inúmeras pessoas citadas foram imprescindíveis para a realização desta pesquisa, uma vez que dado à complexidade da ciência moderna, a meu modo de ver, atualmente, dificilmente alguém faz ciência sozinho, pois sempre precisamos de ajuda e parcerias; deste modo, **dedico** esta tese a todas estas pessoas que me ajudaram, tanto do ponto de vista intelectual ou apenas através de um sorriso sincero e/ou palavras amigas.

"Quase todos os homens são capazes de suportar adversidades, mas se quiser por à prova o caráter de um homem, dê-lhe poder."
(Abraham Lincoln 1809-1865)

"Liberdade, Igualdade e Fraternidade"
(povo francês- final do século XVIII)

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	viii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FOTOS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE.....	xv

RESUMO GERAL

Nesta pesquisa foram estudadas 4 microbacias hidrográficas que perfazem uma área de aproximadamente 500 km², localizadas na serra da Mantiqueira oriental e Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. As microbacias têm suas nascentes mais altas localizadas no setor de cimeira da Mantiqueira, a quase 2000 metros de altitude, onde formam riachos que, posteriormente, descem a escarpa da Mantiqueira de forma abrupta e, em seguida, correm pela planície do Vale do Paraíba, até atingir o rio Paraíba em altitudes muito inferiores que, no geral, estão ao redor dos 550 metros. Nestas microbacias foram coletados dados ambientais relativos aos parâmetros físicos e químicos da água, cobertura vegetal e geomorfologia regional, através do emprego de trabalhos de campo e do uso de geotecnologias. Os dados físicos e químicos foram utilizados para avaliar a dinâmica anual e balanço de massa destes elementos para cada uma das 4 microbacias, uma vez que foram coletados dados fluviométricos e pluviométricos. A análise dos dados físicos e químicos das microbacias demonstrou que as taxas de intemperismo físico e químico são mais acentuadas no alto curso das microbacias e no período mais chuvoso do ano; suas águas pluviais e fluviais apresentaram concentrações dentro dos padrões normais da maioria dos elementos químicos mensurados, com exceção para o pH das precipitações que permaneceu ácido durante todo o ano e as concentrações de Na das águas pluviais que apresentaram valores sensivelmente superiores aos verificados em outros estudos. Nesta pesquisa também foi estudada a ictiofauna, avaliando se existe correlação entre as características geomorfológicas regionais das microbacias estudadas com a riqueza, abundância, diversidade Shannon, equitabilidade e similaridade da fauna de peixes. Os resultados demonstraram que todas as variáveis geomorfológicas regionais utilizadas têm um relevante papel na estruturação das comunidades de peixes da região; no entanto, a declividade do canal principal pareceu ser a mais importante delas. Os pontos de coleta da ictiofauna de encosta têm um menor número de espécies, diversidade Shannon e equitabilidade do que os pontos que estão localizados na transição entre a encosta e a planície do Vale do Paraíba. No entanto, a abundância é maior na encosta em relação a transição o que sugere que, além dos parâmetros geomorfológicos regionais mensurados, o parcial isolamento biogeográfico, espaço físico limitado, menor número de habitats disponíveis e maior instabilidade ambiental da encosta são fatores que devem afetar a ictiofauna.

Palavras-chave: Dinâmica anual de elementos físicos e químicos da água; Balanço de massa; Ictiofauna; Microbacias hidrográficas.

ABSTRACT

In this research, were studied 4 micro watersheds that, together, consist of an area of approximately 500 km² distributed in the east sierra of Mantiqueira and Vale do Paraíba in the state of São Paulo. The highest sources of these micro watersheds are located in the summit section of the Mantiqueira at about 2000 meters of altitude where they form streams, which subsequently descend abruptly the Mantiqueira escarpment and then run across the plain of the Vale do Paraíba until they achieve the Paraíba river at much lower altitudes, which, in general, are around 550 meters high. From these micro watersheds were collected environmental data relating to the physical and chemical parameters of water, vegetation and regional geomorphology through fieldwork and the use of geotechnology. The physical and chemical data were used to evaluate the annual dynamic and mass balance of these elements for each of the 4 micro watersheds, once fluviometric and rainfall data were collected. The analysis of the physical and chemical micro watersheds data showed that the rates of physical and chemical weathering are higher in the upper fluvial channels of the micro watersheds and in the rainy season of the year. Their rainwater and river water had concentrations within the normal range for most chemical elements measured except for the pH of precipitation, which remained acid throughout the year, and the Na concentrations in the rainwater showed noticeable higher values than those measured in other studies. In this research, the Ichthyofauna was also studied by evaluating whether there is a correlation between the regional geomorphology characteristics of the studied micro watersheds regarding the richness, abundance, Shannon diversity, equitability and similarity of the fish fauna. The results showed that all regional geomorphological variables used have an important role in the regional structure of fish communities; however, the slope of the main channel seems to be the most important. The slope sampled sites have a smaller number of species, Shannon diversity and equitability than the sampled sites located in the transition between the slope and the Vale do Paraíba plain. However, the abundance is higher in the slope and smaller in the transition, suggesting that in addition to the regional geomorphology measured parameters, the partial biogeographic isolation, physical limited space, smaller number of habitats available and greater environmental instability of slope are factors that should affect the ichthyofauna.

Keywords: Annual dynamics of physical and chemical elements of water, Mass balance, Ichthyofauna, Micro watersheds.

CAPÍTULO 1: PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA E BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA SERRA DA MATIQUEIRA ORIENTAL (SP)

LISTA DE FOTOS

Foto 1:	Ponto- P1.....	10
Foto 2:	Ponto- P3.....	10
Foto 3:	Ponto- P5.....	10
Foto 4:	Ponto- P7.....	10
Foto 5:	Ponto- P2.....	11
Foto 6:	Ponto- P4.....	11
Foto 7:	Ponto- P6.....	11
Foto 8:	Ponto- P8.....	11

CAPÍTULO 1: PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA E BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA SERRA DA MATIQUEIRA ORIENTAL (SP)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Perfis hipsométricos do canal principal de cada uma das microbacias estudadas.....	22
Figura 2:	Mapa hipsométrico das microbacias do Piracuama (A) , Grande (B), Buenos (C) e Guaratinguetá (D).....	23
Figura 3:	Mapa de declividade das microbacias do Piracuama (A), Grande (B), Buenos (C) e Guaratinguetá (D).....	24
Figura 4:	Mapa Geológico, com a localização dos pontos amostrais de dados físicos e químicos da água (fluviométricos: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8; pluviométricos: C1 e C2) das microbacias do Piracuama (PI) , Grande (GR) , Buenos (BU) e Guaratinguetá (GU).....	26
Figura 5:	Uso da terra das microbacias do Piracuama (A) , Grande (B), Buenos (C) e Guaratinguetá (D). Imagem classificada Landsat5 TM RGB543.....	29

CAPÍTULO 2: A ICTIOFAUNA DE QUATRO MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NEOTROPICAIS E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS REGIONAIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Localização dos pontos amostrais nas microbacias hidrográficas do rio Piracuama (PI), ribeirão Grande (GR), ribeirão dos Buenos (BU) e rio Guaratinguetá(GU).....	59
Figura 2:	Similaridade entre os pontos amostrais das microbacias do Piracuama (PI), Grande (GR) Buenos (BU) e Guaratinguetá (GU) de acordo com a ictiofauna local. Pontos contornados com retângulo referem-se aos de transição; os demais, aos de encosta.....	68

CAPÍTULO 1: PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA E BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA SERRA DA MATIQUEIRA ORIENTAL (SP)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Coeficiente de correlação de Karl Pearson com nível de significância $\alpha = 0,05$ e grau de liberdade de $N - 2$ para as variáveis regionais de hierarquia fluvial Shreve (SFH), área drenada (DA), porcentagem de cobertura arbórea (PVC), coeficiente de compacidade (CC), densidade de drenagem (DD), declividade canal principal (DC). Os valores em negrito são os que apresentaram correlação significativa.....	30
Tabela 2:	Médias mensais dos dados fluviométricos e pluviométricos de Vazão, Condutividade, Temperatura, pH, oxigênio dissolvido, Sólidos totais dissolvidos (TDS), Sólidos totais em suspensão (TSS), Ca, Mg, Na, K, Cl ⁻ , F ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ e NO ₃ ⁻ do período chuvoso (MPC) e menos chuvoso (MPMC) das microbacias dos rios Piracuama, Grande, Buenos e Guaratinguetá.....	33
Tabela 3:	Resultados compilados das análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) para as variáveis regionais de hierarquia fluvial Shreve (SFH), área drenada (DA), porcentagem de cobertura arbórea (PVC), coeficiente de compacidade (CC), densidade de drenagem (DD), declividade do canal principal (DC) e as variáveis físicas e químicas das águas fluviais de vazão, condutividade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos totais em suspensão (TSS), Ca, Mg, Na, K, Cl ⁻ , F ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ e NO ₃ ⁻	34
Tabela 4:	Total anual (TA) e médias mensais dos dados fluviométricos e pluviométricos do período chuvoso (MPC) e menos chuvoso (MPMC) dos dados de Ca, Mg, Na, K, Cl ⁻ , F ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , sólidos totais dissolvidos (TDS) e sólidos totais em suspensão (TSS), em toneladas por km ² , das microbacias dos rios Piracuama, Grande, Buenos e Guaratinguetá.....	42

CAPÍTULO 2: A ICTIOFAUNA DE QUATRO MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NEOTROPICAIS E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS REGIONAIS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Pontos de amostragem da ictiofauna da serra da Mantiqueira oriental com suas coordenadas geográficas, zoneamento biogeográfico (BZ), área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (CI), densidade de drenagem (DD) e declividade do canal principal (CS).....	61
-----------	---	----

Tabela 2:	Coeficiente de correlação de Pearson com nível de significância $\alpha = 0,05$ e grau de liberdade de $N - 2$ para as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal (CS), área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (CI) e densidade de drenagem (DD). Os valores em negrito são os que apresentaram correlação significativa.....	64
Tabela 3:	Riqueza de espécies (S), abundância (N), diversidade de Shannon (H'), equitabilidade (E) e valores da análise NMDS de todos os pontos amostrais utilizados, calculados a partir dos dados de Andrade (2004), Rondineli (2010) e Carmassi (2012).....	66
Tabela 4:	Resultados das análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) para as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal (CS), área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (CI), densidade de drenagem (DD) e as variáveis biológicas de número de espécies (S), abundância (N), diversidade Shannon (H'), equitabilidade (E) e similaridade da ictiofauna (IS).....	68

CAPÍTULO 1: PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA E BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA SERRA DA MANTIQUEIRA ORIENTAL (SP)

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1: Gráfico gerado a partir da análise de componentes principais (PCA) 31 considerando as variáveis de hierarquia fluvial Shreve, área drenada, porcentagem de cobertura arbórea, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem e declividade do canal principal em pontos localizados na serra da Mantiqueira oriental, nas microbacias do rio Piracuama (P1 e P2), ribeirão Grande (P3 e P4), ribeirão dos Buenos (P5 e P6) e rio Guaratinguetá (P7 e P8). As porcentagens de explicação dos eixos são mostradas entre parênteses.....

CAPÍTULO 2: A ICTIOFAUNA DE QUATRO MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NEOTROPICAIS E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS REGIONAIS.

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1: Gráfico gerado a partir da análise de componentes principais (PCA) 65 considerando as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal, área drenada, distância da foz, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e densidade de drenagem em pontos localizados na serra da Mantiqueira oriental, nas microbacias do rio Piracuama (PI), ribeirão Grande (GR), ribeirão dos Buenos (BU) e rio Guaratinguetá (GU). As porcentagens de explicação dos eixos são mostradas entre parênteses.....

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS.....	4
REFERÊNCIAS.....	5
CAPÍTULO 1: PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA E BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA SERRA DA MATIQUEIRA ORIENTAL (SP).....	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
Procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados das águas fluviais e pluviais.....	10
Procedimentos de coleta, processamento e produção de dados ambientais através da inserção, manipulação e geração de dados em ambiente de SIG.....	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
Caracterização geral da área.....	21
Dados geomorfológicos regionais e de cobertura vegetal.....	30
Avaliação da dinâmica anual dos elementos físicos e químicos da água e sua correlação com variáveis geomorfológicas regionais e de cobertura vegetal das microbacias.....	31
Balanço de massa das microbacias.....	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46
CAPÍTULO 2: A ICTIOFAUNA DE QUATRO MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NEOTROPICAIS E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS REGIONAIS.....	54
RESUMO.....	54
ABSTRACT.....	55
INTRODUÇÃO.....	56
MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
Caracterização geral da área de estudo.....	58
Amostragem da ictiofauna.....	59
Análise dos dados.....	60
Variáveis geomorfológicas regionais.....	60
Variáveis biológicas.....	63
RESULTADOS.....	64
DISCUSSÃO.....	69
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	74

INTRODUÇÃO GERAL

Diante do crescente quadro de degradação ambiental, evidente em toda a Terra, é importante que as universidades e demais entidades empenhadas na produção de ciência conduzam pesquisas relacionadas aos sistemas ambientais, construindo um maior conhecimento destes sistemas e fornecendo assim, maiores subsídios para que os pesquisadores, professores e ambientalistas engajados, nas esferas legislativa, judiciária e do ensino da educação ambiental, atuem de forma mais consistente, assim como, permitam que a sociedade em geral, tenha acesso a um número cada vez maior de informações que retratem a importância e estado de degradação de cada sistema ambiental do nosso planeta.

De acordo com Allan e Castillo (2007) os rios tendem a estabelecer um equilíbrio entre as condições ambientais impostas pela declividade do vale, vazão e quantidade de sedimentos transportados; deste modo, os canais se ajustam na sua largura, profundidade, velocidade, ponto de inclinação, rugosidade e tamanho dos sedimentos transportados. No entanto, hoje as atividades humanas, que desestabilizam o equilíbrio dos rios, muitas vezes, provocam uma série de mudanças que causam problemas para o meio ambiente.

Sistemas ambientais com pequenas dimensões territoriais são ainda mais sensíveis às interferências antrópicas que, se não forem devidamente planejadas, podem causar sérios impactos ambientais, especialmente em microbacias hidrográficas. Kotegov (2007, p.253) afirma que:

Em comparação com médios e grandes rios, pequenos rios têm um baixo potencial de auto restauração e são menos resistentes aos impactos de fatores externos da paisagem terrestre. Como consequência disto, eles são altamente sensíveis a influências antropogênicas e rapidamente respondem a estas influências, mudando seus parâmetros abióticos e bióticos. (Tradução livre do autor)¹

De acordo com Braga (2004) o conceito de microbacia é apresentado para definir um sistema hidrográfico que desce as encostas da serra da Mantiqueira oriental, isolado de outros sistemas contíguos por formações do relevo, indo desaguar em um sistema principal que, nesse caso, é o rio Paraíba do Sul.

¹ In comparison with medium sized and large rivers, small rivers have a lower self-restoration potential and are less resistant to the impact of external factors from terrestrial landscapes. As a consequence, they are highly sensitive to anthropogenic influence and promptly respond to it by changing their abiotic and biotic parameters.

De acordo com Gonçalves (2012), os ambientes fluviais são contínuos, uma vez que estão interligados. Estes sistemas conduzem um fluxo constante de energia e matéria no sentido montante para jusante e um fluxo biológico nos 2 sentidos, apesar do sentido montante para jusante ser predominante. O ciclo hidrológico das bacias hidrográficas se fecha através das águas pluviais, que repõem grande parte da energia e matéria das cabeceiras, que havia sido conduzida para fora do sistema, via exutório ou evaporação.

Deste modo, há uma aparente estabilidade no sistema, uma vez que, as mudanças tendem a ocorrer de forma lenta e gradual ao longo de milhares ou milhões de anos, exceto quando ocorre algum evento de grande magnitude, como grandes movimentações tectônicas, mudanças climáticas, eventos meteorológicos de grandes proporções e acentuadas ações antrópicas. Esses eventos aceleram as modificações no sistema, ocasionando um ponto de ruptura que, por sua vez, pode ficar registrado nos perfis geológicos de uma determinada área; mas, após o término do estresse ao qual o sistema foi submetido, ele tenderá a buscar um novo ponto de equilíbrio. No entanto, se o estresse ao qual o sistema foi submetido tiver sido grande demais, uma expressiva parcela da sua biota poderá ter sido perdida para sempre, assim como, alguns de seus parâmetros abióticos podem ter sofrido significativas alterações permanentes.

Pinto (2008) afirma que apesar dos sistemas aquáticos serem notadamente resilientes na sua habilidade para se restabelecer de alterações químicas e físicas naturais, se tais alterações forem contínuas, podem levar a uma perda completa dos elementos básicos estruturadores do habitat, bem como da qualidade da água, e então a integridade ecológica e biológica desse sistema não será mantida.

Esteves e Cerviá (2001) alegam que os riachos do sudeste brasileiro são sensíveis aos impactos antrópicos. Lourenço (2009) afirma que as interferências antrópicas estão alterando parcialmente os padrões hidrológicos e ecológicos originais das bacias hidrográficas, diminuindo a diversidade de ambientes, especialmente nos trechos situados a jusante, onde a vegetação original e a maioria das lagoas marginais deixam de existir, cedendo lugar às atividades agropecuárias. Camargo et al. (1996), alegam que a fisiografia é o principal fator estruturador das características limnológicas em rios despolidos e a poluição, nos rios poluídos.

Apesar da continuidade e interligação entre os ambientes lóticos de alto e baixo cursos há evidentes diferenças na paisagem entre esses 2 tipos de ambiente, especialmente em regiões geográficas heterogêneas, como as microbacias hidrográficas estudadas, que têm suas

nascentes situadas na serra da Mantiqueira oriental (ALMEIDA, 1964) e seus exutórios localizados no Vale do Paraíba.

Estas diferenças da paisagem são retratadas principalmente pela geomorfologia que, por sua vez, influencia o clima e biota local, uma vez que as áreas serranas possuem condições de temperatura e uma biota muito distinta das áreas mais planas, situadas a jusante. Nos rios situados em áreas onde há uma heterogênea geomorfologia, parece existir uma estreita relação entre as condições geomorfológicas regionais e algumas de suas características físicas e químicas da água, assim como, uma relação muito próxima da geomorfologia com a biota local. Neste sentido, Camargo et al. (1997, p.1) afirmam que:

Ecosistemas aquáticos interagem fortemente com os ecossistemas terrestres circundantes. Vários estudos têm demonstrado que diferentes aspectos fisiográficos (geologia, geomorfologia, clima e uso e ocupação da terra) de bacias hidrográficas interagem na determinação das características limnológicas de ecossistemas lóticos. (Tradução livre do autor)²

No primeiro capítulo desta pesquisa foram avaliados alguns parâmetros físicos e químicos das águas fluviais e pluviais, onde a dinâmica anual destes parâmetros é mensurada e um balanço de massa é estabelecido, tendo como base espacial as microbacias hidrográficas do rio Piracuama, ribeirão Grande, ribeirão dos Buenos (ou Moreiras) e rio Guaratinguetá (estado de São Paulo- Brasil). No segundo capítulo desta pesquisa foi estudada a ictiofauna a partir da utilização de geotecnologias na inserção, manipulação e geração de dados geomorfológicos regionais que, posteriormente, têm sua correlação com a ictiofauna testada.

² Aquatic ecosystems interact strongly with the surrounding terrestrial ecosystems. Various studies have demonstrated that different physiographic aspects (geology, geomorphology, climate and soil use and occupation) of hydrographic basins interact in determining the limnological characteristics of the lotic ecosystems.

OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi estudar a influência geomorfológica regional na ictiofauna e da geomorfologia regional e vegetação na dinâmica anual de elementos físicos e químicos nas microbacias hidrográficas do rio Piracuama, ribeirão Grande, ribeirão dos Buenos e rio Guaratinguetá, assim como, verificar a dinâmica anual dos parâmetros físicos e químicos das águas e balanço de massa destas microbacias. Para isso, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

- mensurar os parâmetros físicos e químicos das águas fluviais e pluviais nos gradientes espaciais e temporais, permitindo avaliar a dinâmica anual destes parâmetros nestas microbacias, construindo um balanço de massa e avaliar se existe correlação dos dados geomorfológicos regionais mensurados e da vegetação, com os parâmetros físicos e químicos das águas fluviais.

- avaliar os parâmetros da ictiofauna local do número de espécies (riqueza), número de indivíduos (abundância), diversidade Shannon, equitabilidade e similaridade verificando sua dinâmica espacial entre os pontos de coleta de encosta (montante) e transição (jusante), assim como, verificar se existem correlações destes parâmetros, da ictiofauna, com os dados geomorfológicos regionais, obtidos através dos trabalhos de campo, levantamento bibliográfico e utilização de um sistema de informação geográfica (SIG).

REFERÊNCIAS

ALLAN, J. D. ; CASTILLO, M. M. Stream Ecology: Structure And Function Of Running Waters. 2 edição, Netherlands: Ed. Springer, 2007. 436p.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Instituto Geológico e Geográfico. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo: IGG, 1964, v. 41, p. 167-262.

BRAGA, F. M. S. Habitat, distribuição e aspectos adaptativos de peixes da microbacia do Ribeirão Grande, Estado de São Paulo, Brasil. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringá, v. 26, n. 1, p. 31-36, 2004.

CAMARGO, A. F. M.; FERREIRA, R. A. R.; SCHIAVETTI, A.; BINI, L. M.; Influence of physiography and human activity on limnological characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, [S.l.], v.8, p.231-243, 1996.

_____; NUCCI, P. R.; BINI, L. M.; SILVA Jr, U. L. The influence of the geology on the limnological characteristics of some lotic ecosystems of the Itanhaém river basin, SP – Brazil. Verh. Internat. Verein. Limnol. Stuttgart, [paginação não disponível], 1997.

ESTEVES, K. E.; CERVIÁ, J. L. Composition and trophic structure of a fish community of a clear water Atlantic rainforest stream in southeastern Brazil. Environmental Biology of fishes. Netherlands, n. 62, p. 429 – 440, 2001.

GONÇALVES, C. da S. **Distribuição e alimentação de peixes em riachos costeiros da Mata Atlântica, Sudeste do Estado de São Paulo**. 2012. 92f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração: Zoologia)- Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

LOURENÇO, J. M. R. M. F. **Caracterização geográfica e análise da distribuição horizontal da ictiofauna da microbacia do ribeirão dos Buenos ou Moreiras (Serra da Mantiqueira Oriental)**. 2009. 191f. Dissertação (Mestrado em Geografia, área de concentração: Organização do Espaço). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

KOTEGOV, B. G. Special Features of Fish Species Composition and Community Structure in Small Rivers of the Udmurt. Russian Journal of Ecology, Russia, v.38, n.4, p. 253–261, 2007. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/b2318572621510q5/?MUD=MP>. Acesso em 05 de jul. de 2012.

PINTO, B. C. T. **Condicionantes ambientais estruturadores das assembléias de peixes da bacia do rio Paraíba do Sul**: condição do uso da terra, do habitat físico e qualidade físico-química da água. 2008. 236f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

CAPÍTULO 1

PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA E BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA SERRA DA MATIQUEIRA ORIENTAL (SP).

RESUMO

Neste capítulo foram estudadas 4 microbacias hidrográficas que ocupam uma área de aproximadamente 500 km², localizadas na serra da Mantiqueira oriental e Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. Os objetivos foram avaliar a dinâmica anual dos parâmetros físicos e químicos das águas fluviais e pluviais, o balanço de massa e as correlações entre a dinâmica dos elementos físicos e químicos da água com a geomorfologia regional e cobertura vegetal para cada uma das 4 microbacias. Foram coletados dados ambientais relativos aos parâmetros físicos e químicos da água, cobertura vegetal e geomorfologia regional através do emprego de trabalhos de campo e do uso de geotecnologias. Tanto as águas fluviais como pluviais foram mensuradas durante um ano, sendo que, as águas fluviais foram avaliadas mensalmente e as águas pluviais a cada 10 dias. A análise dos dados físicos e químicos das microbacias demonstrou que, embora as concentrações em mg/L da maioria dos elementos químicos presentes nas águas pluviais e fluviais tenham sido mais elevadas durante o período mais seco do ano, as taxas de intemperismo físico e químico são mais acentuadas no alto curso das microbacias e no período mais chuvoso do ano, devido ao grande aumento das precipitações e vazões que ocorrem nesta época. As águas pluviais e fluviais apresentaram concentrações dentro dos padrões normais da maioria dos elementos químicos mensurados, com exceções para o pH das precipitações que permaneceu ácido durante todo o ano, possivelmente devido à poluição do ar oriunda da área metropolitana de São Paulo e grandes cidades do Vale do Paraíba e o Na, que apresentou concentrações sensivelmente superiores às verificadas em outros estudos. A maioria das variáveis geomorfológicas regionais utilizadas e cobertura vegetal das microbacias apresentaram correlações estatísticas com a dinâmica anual dos elementos físicos e químicos das águas fluviais, assim como, as ações antrópicas demonstram também interferir neste processo, enquanto que a litologia parece ter um papel secundário na composição física e química das águas das microbacias.

Palavras-chave: Dinâmica anual de elementos físicos e químicos da água; balanço de massa; microbacias hidrográficas.

ABSTRACT

In this chapter were studied 4 micro watersheds that, together, consist of an area of approximately 500 km² distributed in the east sierra of Mantiqueira and Vale do Paraíba in the state of São Paulo. The goals were to evaluate the annual dynamics of physical and chemical parameters of river and rain water, the mass balance and the correlations between the dynamics of the physical and chemical elements from the water with regional geomorphology and vegetation for each of the 4 micro watersheds. Environmental data were collected on the physical and chemical parameters of water, vegetation and regional geomorphology by fieldwork and the use of geotechnology. Both river and rainwater were measured over a year, however, the river water was evaluated monthly and the rainwater every 10 days. The analysis of physical and chemical micro watersheds data demonstrated that, although the concentrations in mg/L for most chemical elements present in rainwater and river water has been higher during the driest season of the year, the rates of physical and chemical weathering are stronger in the higher of the micro watersheds and in the rainy season of the year due to the large increase of precipitation and streamflow that occur at this time of the year. The rain and river water had concentrations within the normal range for most chemical elements measured with exceptions to the pH of precipitation that kept acid throughout the year, possibly due to the air pollution coming from the metropolitan area of São Paulo and major cities of the Vale do Paraíba and the Na had concentrations much higher than those observed in other studies. Most regional geomorphological and vegetative cover of micro watersheds variables used showed statistical correlation with the annual dynamics of the physical and chemical elements of rivers water, as well as anthropogenic actions demonstrate also interfere with this process while the lithology seems to have a secondary role in the physical and chemical composition of micro watersheds water.

Keywords: Annual dynamics of physical and chemical elements of water, mass balance, micro watersheds.

INTRODUÇÃO

A água, em todos os seus estados físicos em conjunto com a força da gravidade são os 2 principais agentes responsáveis pelo transporte de massa em qualquer bacia hidrográfica do mundo. A dinâmica anual de elementos físicos e químicos da água em bacias hidrográficas é importante porque reflete a entrada e saída dos elementos químicos nas bacias, bem como, sua variação sazonal, possibilitando que uma série de informações sejam avaliadas, como por exemplo, a composição e qualidade das águas pluviais e fluviais e o balanço de massa das bacias. Estes estudos também podem fornecer informações que permitam estimar as taxas de intemperismo e gasto de CO² neste processo.

De acordo com Coelho Netto (2013), a água constitui um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interligando fenômenos da atmosfera inferior e da litosfera, e interferindo na vida vegetal, animal e humana, a partir da interação com os demais elementos do seu ambiente de drenagem; dentre as múltiplas funções da água destaca-se seu papel como agente modelador do relevo da superfície terrestre, controlando tanto a formação como o comportamento mecânico dos mantos de solos e rochas.

Kruk et al. (2009) ressaltam a importância da modelagem hidrológica como uma ferramenta importante para o estudo dos impactos de ações antrópicas, além de poder ser utilizada como parte de um sistema de alerta de eventos extremos.

Os parâmetros físicos e químicos das águas também refletem a qualidade da água, indicando a necessidade ou não de seu tratamento, para os mais diversos fins, sejam eles recreativos, agrícolas, industrial, ou de abastecimento domiciliar, assim como, a viabilidade ou inviabilidade econômica deste tratamento.

As águas fluviais e pluviais podem conter elementos químicos em quantidade muito acima ou abaixo da desejada devido a ações antrópicas, como processos de desflorestamento, queima de florestas, agropecuária, industrialização, fluxo de veículos movidos a combustíveis fósseis, descarte de efluentes domésticos e/ou industriais, acidentes nucleares, ou também devido a processos naturais, como por exemplo, a proximidade de grandes depósitos minerais, proximidade dos oceanos, cadeias de montanhas, erupções vulcânicas e fenômenos meteorológicos.

Muitos estudos hidroquímicos já foram realizados em grandes bacias hidrográficas tropicais (STALLARD e EDMOND, 1981; STALLARD e EDMOND, 1983; LESACK, HECKY e MELACK 1984; LEWIS et al., 1987; STALLARD, KOEHNKEN e JOHNSON, 1991; PROBST et al., 1992; NÉGREL et al., 1993; KONHAUSER, FYFE e KRONBERG,

1994; DEVOL et al., 1995; DUPRÉ et al., 1996; EDMOND et al., 1996; GAILLARDET et al., 1997). No entanto, de acordo com White e Blum, (1995) ainda existem poucos estudos hidroquímicos realizados em micros e médias bacias hidrográficas de clima tropical, uma vez que existem milhares de microbacias hidrográficas no mundo e o que já foi estudado representa uma parcela muito pequena do total, dificultando uma melhor compreensão de como os processos de intemperismo e balanço de massa ocorrem nestes pequenos sistemas ambientais. Albarède (1996, p.xvii) retrata que o objetivo da geoquímica é juntar diversos campos da moderna ciência para uma mais precisa descrição do passado ou do presente do mundo, estabelecendo quantitativos conceitos e regras que devem ser construídos para prever os resultados de processos geológicos futuros.

Neste capítulo apresenta-se o estudo das 4 microbacias hidrográficas do rio Piracuama, ribeirão Grande, ribeirão dos Buenos e rio Guaratinguetá (estado de São Paulo- Brasil), nas quais foram avaliadas a dinâmica anual dos parâmetros físicos e químicos da água e o balanço de massa das microbacias estabelecidos através dos pontos de coleta fluviais e pluviais. Também foi testado se existe correlação significativa entre a cobertura vegetal do solo e alguns parâmetros geomorfológicos regionais mensurados, com os dados físicos e químicos coletados para as águas fluviais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados das águas fluviais e pluviais.

Amostras de águas fluviais foram coletadas em 8 pontos (Fotos 1 a 8)³ dos quais 4 estão localizados no alto curso das microbacias (um por microbacia) em ambientes de encosta (P1; P3; P5; P7). Outros 4 localizam-se no baixo curso destas microbacias (um por microbacia) sendo que, 3 estão situados na planície do Vale do Paraíba, próximos ao exutório das microbacias (P2; P4; P6) e um encontra-se na transição entre a encosta e planície, no entanto, com características geomorfológicas e geograficamente muito próximo de um sistema ambiental de planície (P8). As coletas de águas fluviais foram realizadas com frequência mensal, abrangendo um ciclo hidrológico completo (caracterizando a época da estação mais chuvosa e menos chuvosa, ou seja, 12 meses).

Fotos 1 a 8- Pontos de amostragem de águas fluviais.



Foto1: Ponto- P1



Foto 2: Ponto- P3



Foto 3: Ponto- P5



Foto 4: Ponto- P7

³Pontos de coleta localizados em mapa na página 26 (Figura 4).



Foto 5: Ponto- P2



Foto 6: Ponto- P4



Foto 7: Ponto- P6



Foto 8: Ponto- P8

Fotos: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2011.

As águas fluviais foram caracterizadas quanto aos aspectos físicos e químicos através de equipamento com eletrodos de leitura direta, no próprio local de coleta, marca YSI-modelo 556, previamente calibrado no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP de Rio Claro, sendo analisadas as seguintes variáveis: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (mg/L) e sólidos totais dissolvidos (mg/L). As amostras de águas fluviais, após suas coletas, foram armazenadas em vasilhames de polietileno e levadas ao LAGEA para quantificação dos sólidos totais em suspensão (método fotométrico de 1 a $750 \pm 0,5$ mg/L), através do espectrofotômetro DR 2800 da Hach Company (HACH, 1992).

Para se obter o teor dissolvido de Na, K, Ca, Mg, SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , F^- e Cl^- nas amostras de águas fluviais e pluviais estas foram armazenadas em frascos de polietileno e transportadas ao LAGEA; depois foram filtradas com a utilização de filtro Millipore de 45 μm , acoplado a uma seringa descartável de 20 mL. Sódio, cloreto e fluoreto foram analisados pelo método potenciométrico com a utilização de eletrodos acoplados a um medidor de íons

seletivo da Orion (modelo 710 A+). Os teores de cálcio e magnésio (método da calmagita colorimétrica, de $0,05$ a $4,00 \pm 0,01$ mg/L), potássio (método do tetrafenilborato, de $0,10$ a $7,00 \pm 0,04$ mg/L), sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário, de 2 a $70 \pm 0,9$ mg/L), fosfato (método do ácido ascórbico, de $0,02$ a $2,5 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato (método de redução de cádmio, de $0,1$ a $10 \pm 0,3$ mg/L) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 2800 da Hach Company (HACH, 1992).

Para o cálculo da velocidade da corrente e vazão há uma série de técnicas semelhantes que possuem pequenas variações e são apresentadas e utilizadas por diferentes autores como Environmental Protection Agency - EPA (UNITED STATES OF AMERICA, 1997), Santos et al. (2001) e Palhares et al. (2007). Entretanto, nesta pesquisa foi utilizada a técnica descrita por Lourenço e Braga (2009) que realizaram um aperfeiçoamento das diversas variações das técnicas existentes, com o intuito de torná-las mais precisas e exequíveis em locais de difícil acesso .

Para se saber a média em mg/L ou em outras unidades de medidas (no caso de pH, condutividade etc.) das águas fluviais, os valores mensais, mensurados em campo e em laboratório a partir das amostras de água recolhidas no campo, foram somados e depois divididos; no caso da média da estação mais chuvosa, 7 valores foram somados e depois divididos por 7 (meses de outubro a abril) e no caso do período menos chuvoso, o mesmo procedimento foi realizado, considerando-se somente 5 valores (maio a setembro).

O cálculo do total mensal de elementos químicos transportados pelos rios (em toneladas) em cada um dos pontos amostrais foi realizado a partir da seguinte equação:

$$TMTF = (((VM * NSM) * 1000) * (VMMG)) / 1000000000$$

Em que:

TMTF= valor total dos elementos químicos transportados pelo rio, no mês escolhido, em toneladas;

VM= é a vazão medida durante a coleta de dados fluviométricos do mês (em metros cúbicos por segundo);

NSM= número de segundos do mês considerado (que varia de acordo com o mês utilizado, uma vez que alguns meses possuem mais e outros menos dias);

VMMG= valor medido no mês em mg/L.

Para calcular o total anual de cada elemento químico transportado (em toneladas) pelos rios, os valores mensais de TMTF calculados foram somados (12 valores); e para calcular a média mensal anual, o resultado do total anual foi dividido por 12 (média simples). Para saber a quantidade total da estação menos chuvosa foram somados os valores de TMTF referentes aos meses de maio a setembro (5 meses) e para calcular a média deste período, o resultado obtido pela soma foi dividido por 5. Para saber a quantidade total de elementos transportados durante a estação chuvosa, o mesmo procedimento foi repetido e os meses considerados foram de outubro a abril (7 meses).

Para se obter a quantidade de elementos químicos transportados em toneladas por km² os valores mensurados foram divididos pelas respectivas áreas drenadas, situadas a montante, de cada um dos pontos de coleta. Quando o objetivo era calcular somente os valores relativos aos pontos de montante (4 pontos) ou de jusante (4 pontos), apenas os dados destes pontos eram inseridos nas equações.

Para as águas pluviais foram estabelecidos 2 pontos de amostragem, localizados próximos aos pontos de amostragem de águas fluviais, utilizando-se um coletor do tipo “bulk” (deposição seca e úmida) para cada um dos 2 pontos amostrais, onde a cada 10 dias a água das precipitações foi recolhida e encaminhada para as análises; estas coletas foram realizadas durante 12 meses, no mesmo período em que as águas fluviais foram coletadas.

De acordo com Lai, Gan e Jin, (2013) a deposição seca tem sido negligenciada por alguns estudos de balanço de massa. Alguns estudos têm demonstrado que em algumas bacias hidrográficas a deposição seca pode ser maior do que a que ocorre durante as precipitações (JIN et al., 2006); por esta razão, nesta pesquisa, os coletores de águas pluviais permaneceram em funcionamento mesmo quando não havia precipitações para que os materiais presentes no ar pudessem ser recolhidos neste período e depois adicionados ao reservatório de águas pluviais durante as precipitações.

Em campo, as águas pluviais foram caracterizadas somente quanto ao pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos através de equipamento com eletrodos de leitura direta, no próprio local de coleta, marca YSI modelo 556, previamente calibrado no LAGEA.

Para calcular a média mensal (em mg/L ou em outras unidades de medida, no caso de pH, condutividade etc.) dos dados pluviométricos (deposição seca + pluviométrica) adotou-se a seguinte equação:

$$MMPMGL=(VD1+VD2/2)$$

MMPMGL= a média mensal dos dados pluviométricos;

VD1= valor médio das 3 medidas do mês, efetuadas pelo coletor do tipo “bulk”, instalado junto ao pluviômetro número um;

VD2= valor médio das 3 medidas do mês, efetuadas pelo coletor do tipo “bulk”, instalado junto ao pluviômetro número 2.

Para saber a média anual, os valores calculados para cada mês foram somados e divididos por 12. Para saber a média mensal da estação mais chuvosa foram somados os 7 valores obtidos durante a estação chuvosa (outubro a abril) e este resultado foi dividido por 7. Para calcular a média mensal da estação menos chuvosa, os mesmos procedimentos foram repetidos, utilizando-se os 5 valores mensais obtidos nesta estação (maio a setembro).

O cálculo do total mensal de elementos químicos precipitados (deposição seca + pluviométrica) em toneladas foi realizado a partir da seguinte equação:

$$TMQP = (((VD1 + VD2) / 2) * ((PN1 + PN2) / 2)) * AD$$

Em que:

TMQP= valor total dos elementos químicos precipitados (deposição seca + pluviométrica);

VD1= valor médio em mg/L das 3 medidas do mês, efetuadas pelo coletor do tipo “bulk” instalado junto ao pluviômetro número um;

VD2= valor médio em mg/L das 3 medidas do mês, efetuadas pelo coletor do tipo “bulk” instalado junto ao pluviômetro número 2;

PN1= precipitação mensurada para o mês pelo pluviômetro número um instalado nas microbacias (em milímetros por metro quadrado);

PN2= precipitação mensurada para o mês pelo pluviômetro número 2 instalado nas microbacias (em milímetros por metro quadrado);

AD= área drenada (em metros quadrados) do ponto de interesse.

Para saber o total anual (em toneladas) os valores de TMQP calculados para cada um dos meses do ano (12 meses) foram somados; para saber a média anual, o resultado desta soma foi dividido por 12. Para saber o total do período mais chuvoso (em toneladas), os valores de TMQP calculados para cada um dos meses deste período (7 meses) foram somados; para saber a média do período chuvoso, o resultado desta soma foi dividido por 7. No caso do período menos chuvoso, os mesmos procedimentos adotados para o período mais

chuvoso foram utilizados, levando-se em consideração apenas os meses deste período (5 meses).

Procedimentos de coleta, processamento e produção de dados ambientais através da inserção, manipulação e geração de dados em ambiente SIG.

O uso do geoprocessamento vem crescendo nas últimas décadas, tornando possível a organização, manipulação e armazenamento de um número cada vez maior de dados. Por meio do geoprocessamento, dados são trabalhados dentro de um sistema computacional.

Um sistema de informações geográficas (SIG) é um sistema computacional que possui banco de dados capaz de gerenciar informações advindas de diversas fontes, como imagens orbitais, cartas topográficas, cartas de uso da terra, elementos vetoriais advindos de outros programas, etc. . Além disso, alguns SIGs permitem que o usuário trabalhe com ferramentas de edição, sendo capaz de construir vetores representativos, onde são elaborados bancos de dados com informações relativas a estes elementos, o que possibilita, não somente a confecção de um produto final, como mapas temáticos, mas também gera e fornece informações importantes sobre a referida representação.

Para Saito (1997), os sistemas de informações geográficas (SIGs) podem ser definidos como sistemas baseados na tecnologia computacional, que permitem armazenar, recuperar e transformar dados georreferenciados.

Um SIG pode auxiliar diretamente na caracterização de uma área, seja urbana ou rural, englobando suas adversidades e particularidades, sendo capaz de gerar novos dados a partir daqueles inseridos.

Compreender a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço constitui hoje um grande desafio para a elucidação de questões centrais em diversas áreas do conhecimento, seja em saúde, em ambiente, em geologia, em agronomia, entre tantas outras. Tais estudos vêm se tornando cada vez mais comuns, devido à disponibilidade de sistemas de informações geográficas (SIGs) de baixo custo e com interfaces amigáveis (CÂMARA et al., 2002, p.1).

Atualmente são muitos os SIGs que possibilitam realizar diversos trabalhos; para tanto, é necessário que seja escolhido o sistema adequado para o que se deseja desenvolver. Para esta pesquisa foi utilizado principalmente o SIG ArcGis 9.3 (ESRI), possibilitando a organização e georreferenciamento dos dados coletados de diversas fontes, elaboração de

mapas temáticos, bem como a produção e exportação de dados e informações para outros programas.

Para a realização da pesquisa foram utilizadas 6 cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE (BRASIL, 1971a, 1971b, 1974a, 1974b, 1975, 1982), nas escalas de 1:50000. As cartas foram georreferenciadas a partir de coordenadas e informações contidas no próprio documento no ArcGis 9.3. O sistema de projeção utilizado foi o Universal Transverso de Mercator e o datum foi Córrego Alegre, zona 23 S como descrito nas cartas topográficas. Quando havia alguma diferença entre datum e/ou projeção utilizada e a presente nos dados importados para o programa ArcGis 9.3, foram utilizadas ferramentas específicas para ajustar o datum e projeção.

Os pontos de coleta dos dados físicos e químicos das águas pluviais e fluviais tiveram suas coordenadas medidas, em trabalho de campo, por aparelho de GPS; posteriormente estes pontos foram inseridos na base cartográfica da área estudada.

Foram realizadas a delimitação das microbacias e da área drenada a montante de cada um dos pontos de coleta. A delimitação das áreas drenadas permitiu que as mesmas fossem mensuradas e seus valores apresentados em uma tabela de atributos gerada no SIG ArcGis 9.3. Para a execução destas análises foram adotados os procedimentos descritos por ESRI (2008), Silva e Rodrigues (2009) e Lourenço (2009). Também foram gerados e armazenados em ambiente de SIG tabelas de atributos para cada um dos pontos de coleta, onde foram dispostos dados da declividade do canal principal e hierarquia fluvial na classificação de Shreve.

Para a determinação do canal principal de cada uma das microbacias, foram utilizados os procedimentos descritos por Christofletti (1980, p.111):

- a-...o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal;
- b- em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude;
- c- em cada confluência, a partir da desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizado em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia;
- d- curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como soma dos comprimentos dos seus ligamentos.

A partir da criação de 4 *feature class* referentes ao canal principal de cada uma das microbacias estudadas, estas foram interpoladas com os dados de altitude obtidos no mapa hipsométrico gerado anteriormente e, deste modo, foi possível gerar um eixo Z para cada um

dos canais, para em seguida confeccionar perfis hipsométricos do canal principal de cada uma das microbacias.

Nos cálculos de declividade do canal principal foi verificado o número de curvas de nível que o canal cruzava em seu trajeto, da nascente até cada um dos pontos de coleta de dados físicos e químicos da água. Deste modo, foi possível estabelecer o desnível vertical existente neste trajeto e calcular a declividade.

A hierarquia fluvial na classificação de Shreve é descrita por Christofolletti (1980) e caracteriza-se pelo seu contínuo aumento no sentido montante para jusante toda vez que um canal de primeira ordem é acrescentado ao sistema, ou seja, sua mensuração é dada pelo número de canais de primeira ordem situados a montante.

A partir da inserção, em ambiente de SIG, dos dados das cartas topográficas na escala de 1:50000, foram gerados mapas temáticos de hipsometria e declividade. No entanto, antes da geração destes mapas foi necessário realizar a edição através da união dos vetores das curvas de nível das diferentes cartas utilizadas (cerca de 2000 curvas de nível tiveram que ser unidas); em seguida, as altitudes das curvas de nível e pontos cotados tiveram que ser inseridas (cerca de 25 mil curvas de nível e 800 pontos cotados tiveram que ter suas altitudes inseridas). Estas tarefas foram realizadas manualmente, por meio de ferramentas de edição, que permitiram a união das curvas de nível (comando *Merge*) e a entrada dos valores das altitudes nas curvas de nível e nos pontos cotados.

O coeficiente de compacidade (CC) (COSTA, 2007) e a densidade de drenagem (DD) (CHRISTOFOLETTI, 1980) foram calculados a partir das seguintes equações:

$$CC = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$DD = \frac{L_t}{A}$$

Onde:

P = perímetro da microbacia (km);

A = área da microbacia (km²);

L_t = comprimento total dos canais (km).

O coeficiente de compacidade (CC) foi mensurado a partir dos procedimentos descritos por Costa (2007). Este coeficiente denota o quanto uma bacia é alongada, sendo que, quanto maior o seu valor, maior será este alongamento.

A densidade de drenagem (DD) foi calculada a partir dos procedimentos descritos por Christofolletti (1980), que se baseou no trabalho de Horton (1945) e representa o quanto a drenagem de uma bacia é densa, ou seja, quantos quilômetros de canal há para cada quilometro quadrado de área. Seu valor pode ser influenciado por uma série de parâmetros ambientais, tais como, a geologia, geomorfologia, pedologia e clima locais.

Para a avaliação geral do uso da terra, das microbacias e das áreas drenadas referentes a cada ponto de coleta dos dados físicos e químicos fluviométricos, foi possível a utilização de produtos de sensoriamento remoto porque existem imagens gratuitas que permitem a execução de classificações deste tipo com satisfatório nível de precisão.

Os autores Luchiari, Kawakubo e Morato (2005, p.34) definem sensoriamento remoto como a técnica que permite a obtenção de informações acerca de objetos, áreas ou fenômenos (alvos) presentes na superfície terrestre, sem que haja necessidade de contato direto com os mesmos.

Para Ho e Lee (2000, p.1), que estudam o SIG para análise do uso da terra, o sistema de Informações Geográficas (SIG) possui poderosas ferramentas para análise espacial de dados e administração da informação da terra [...] Os sistemas de informação geográfica (SIG) são uma recente tecnologia intensamente usada na pesquisa de problemas do uso da terra (Tradução livre do autor) ⁴.

Segundo Pancher e Freitas (2004, p.321)

As imagens obtidas por sensores remotos registram a energia oriunda de objetos da superfície observada. As imagens apresentam os elementos básicos de análise e interpretação, a partir dos quais se extraem informações de objetos, áreas ou fenômenos.

Na classificação do uso da terra, efetuada nesta pesquisa, foi utilizada uma composição falsa cor RGB543 de imagens Landsat5 Thematic Mapper (TM), obtidas do site do INPE. As imagens utilizadas são do dia 5 de setembro de 2011, com 0% de cobertura de nuvens, azimute do Sol de 50,4031° e elevação do Sol de 62,1614°. Landsat5 TM é um satélite cuja resolução espacial é de 30 metros, níveis de quantização de 8 bits (0 a 255 níveis de cinza) para cada banda e resolução espectral de 1,55-1,75; 0,76-0,90; 0,63-0,69 (μm) para as bandas 5, 4 e 3 respectivamente (JENSEN, 2009).

⁴ The Geographic Information Systems (GIS) have powerful tools to the analysis of spatial data and the management of land information [...] Geographic Information System (GIS) is a novel technology widely used to survey the land use problem.

A composição RGB543 da imagem foi realizada no programa Global Mapper 13; seu georreferenciamento também foi refeito neste programa, com o objetivo de ajustar a imagem ao georreferenciamento da base cartográfica utilizada, realizado anteriormente.

Na classificação do uso da terra utilizou-se o programa ArcGis 9.3, onde foi realizada uma classificação automática supervisionada; para isto foram criadas apenas duas classes (vegetação rasteira e vegetação arbórea). O classificador utilizado foi o Maximum Likelihood (JAE MYUNG, 2003).

A verificação da acuidade da classificação foi testada de forma binária (sim ou não), utilizando-se de 100 pontos de controle, escolhidos de forma aleatória, para cada uma das duas classes criadas (vegetação rasteira e vegetação arbórea), ou seja, ao todo foram usados 200 pontos de controle (VOLPE, 2013). Os pontos de controle foram verificados na imagem RGB543 original e na imagem classificada e os resultados indicaram 95% de acerto para a vegetação rasteira e 97% para a vegetação arbórea.

Em seguida foi verificado o quanto as variáveis geomorfológicas regionais e do uso da terra selecionadas encontram-se correlacionadas entre si. Para isto foi utilizado o coeficiente de correlação de Karl Pearson com nível de significância $\alpha = 0,05$ e grau de liberdade de $N - 2$ (GERARDI e SILVA, 1981). Com o mesmo propósito, realizou-se uma análise de Componentes Principais (PCA) executada no programa Past (HAMMER, HARPER e RYAN, 2001), que também foi útil para revisar a separação, feita através das observações dos trabalhos de campo, dos pontos amostrais, classificados como de montante (4 pontos) e de jusante (4 pontos).

Estes procedimentos também foram necessários para eliminar alguns dados gerados na pesquisa (geomorfológicos e do uso da terra), que se mostraram altamente correlacionados entre si. Para a eliminação de alguns destes dados gerados e seleção daqueles que foram utilizados nas análises de correlação com os dados físicos e químicos das águas fluviais foram adotados os seguintes critérios: a- optou-se, prioritariamente, por dados que parecessem interessantes para testar sua correlação com os dados físicos e químicos das águas fluviais coletadas; b- que fossem confiáveis no que diz respeito à sua precisão; c- apresentassem o maior grau de independência possível com relação aos outros dados selecionados, ou seja, a menor correlação possível.

Para a redução da dimensionalidade dos dados ambientais selecionados (geomorfológicos e uso da terra), os mesmos foram trabalhados em $\log(x+1,1)$, seguindo procedimentos semelhantes aos adotados por Legendre e Legendre, (1998), Suárez e Petrere Júnior (2006) e Gonçalves e Braga (2012).

Em seguida, para avaliar se os dados físicos e químicos da água (variáveis respostas) encontram-se correlacionados com os dados geomorfológicos e de uso da terra trabalhados (variáveis explanatórias), foram realizadas análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) no programa Bioestat, seguindo-se os mesmos procedimentos adotados por Suárez e Petreire Júnior (2006).

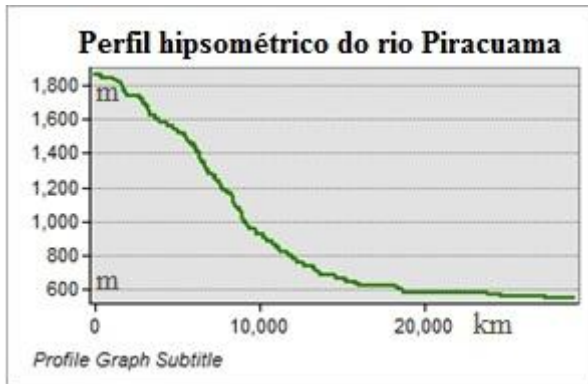
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização geral da área.

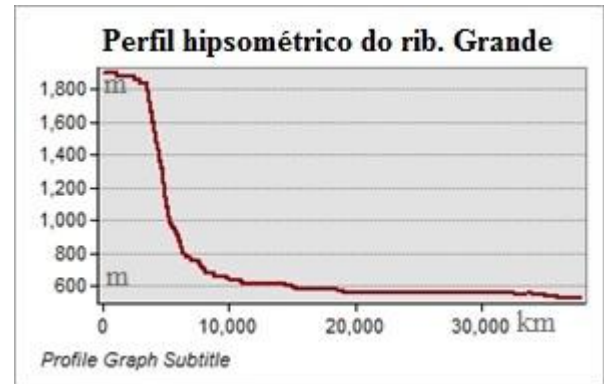
O rio Paraíba do Sul tem uma extensão aproximada de cerca de 1000 km (ARAÚJO, 1998); uma vazão de inverno de 109 m³ por seg. e de verão de aproximadamente 950 m³ por seg. (ARAÚJO et al., 2003); sua bacia abrange uma área de aproximadamente 57000 km², compreendida entre os paralelos 20°26' e 23°38' sul e os meridianos 41° 00'e 46°30' oeste. Ao norte seu divisor de águas se faz entre os rios Grande (bacia do Paraná) e Doce (sistema do Leste brasileiro) por intermédio da serra da Mantiqueira. Ao sul, a serra do Mar separa esta bacia de diversos pequenos rios que fluem diretamente para o oceano Atlântico (BIZERRIL, 1999).

As encostas da serra da Mantiqueira apresentam inúmeros riachos que formam microbacias e vão tributar o rio Paraíba do Sul, no Vale do Paraíba (BRAGA 2004; BRAGA e ANDRADE, 2005). Os indígenas que habitavam a serra da Mantiqueira a chamavam de Amantikir (montanha que chora) em alusão aos inúmeros rios que ali nascem (PASCUTTI et al., 2012). Nesta pesquisa foram estudadas as microbacias do rio Piracuama (164,43 km²), ribeirão Grande (133,76 km²), ribeirão dos Buenos (84,31 km²) e rio Guaratinguetá (162,31 km²) que são microbacias tributárias da margem esquerda do rio Paraíba do Sul. Estas microbacias estão distribuídas na serra da Mantiqueira oriental (ALMEIDA, 1964) e Vale do Paraíba, no estado de São Paulo.

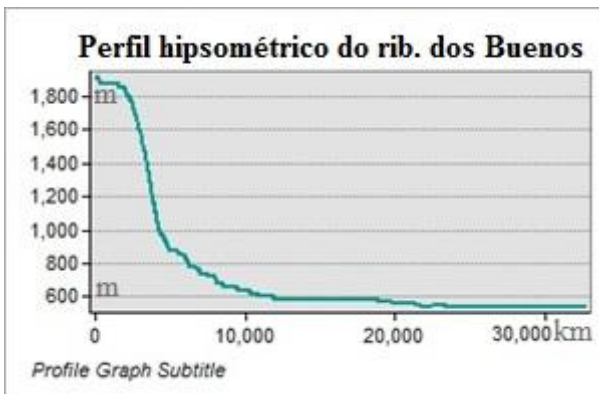
As microbacias têm suas nascentes mais altas localizadas no setor de cimeira da Mantiqueira, a quase 2000 metros de altitude, onde formam riachos que, posteriormente, descem a escarpa da Mantiqueira de forma abrupta e, em seguida, correm pela planície do Vale do Paraíba até atingir este rio em altitudes muito inferiores que, no geral, estão ao redor dos 550 metros (Figuras 1, 2 e 3).



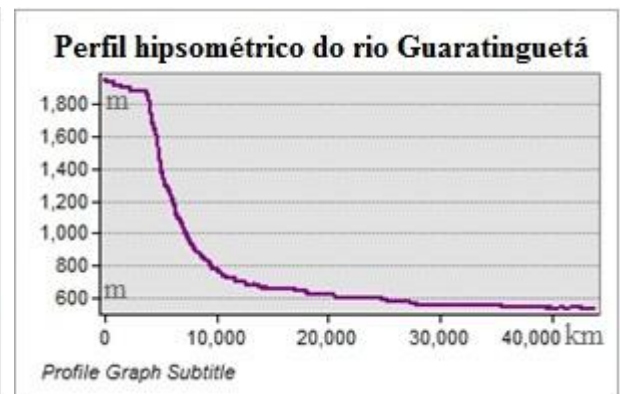
Piracuama



Grande



Buenos



Guaratinguetá

Figura 1- Perfis hipsométricos do canal principal de cada uma das microbacias estudadas.
Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

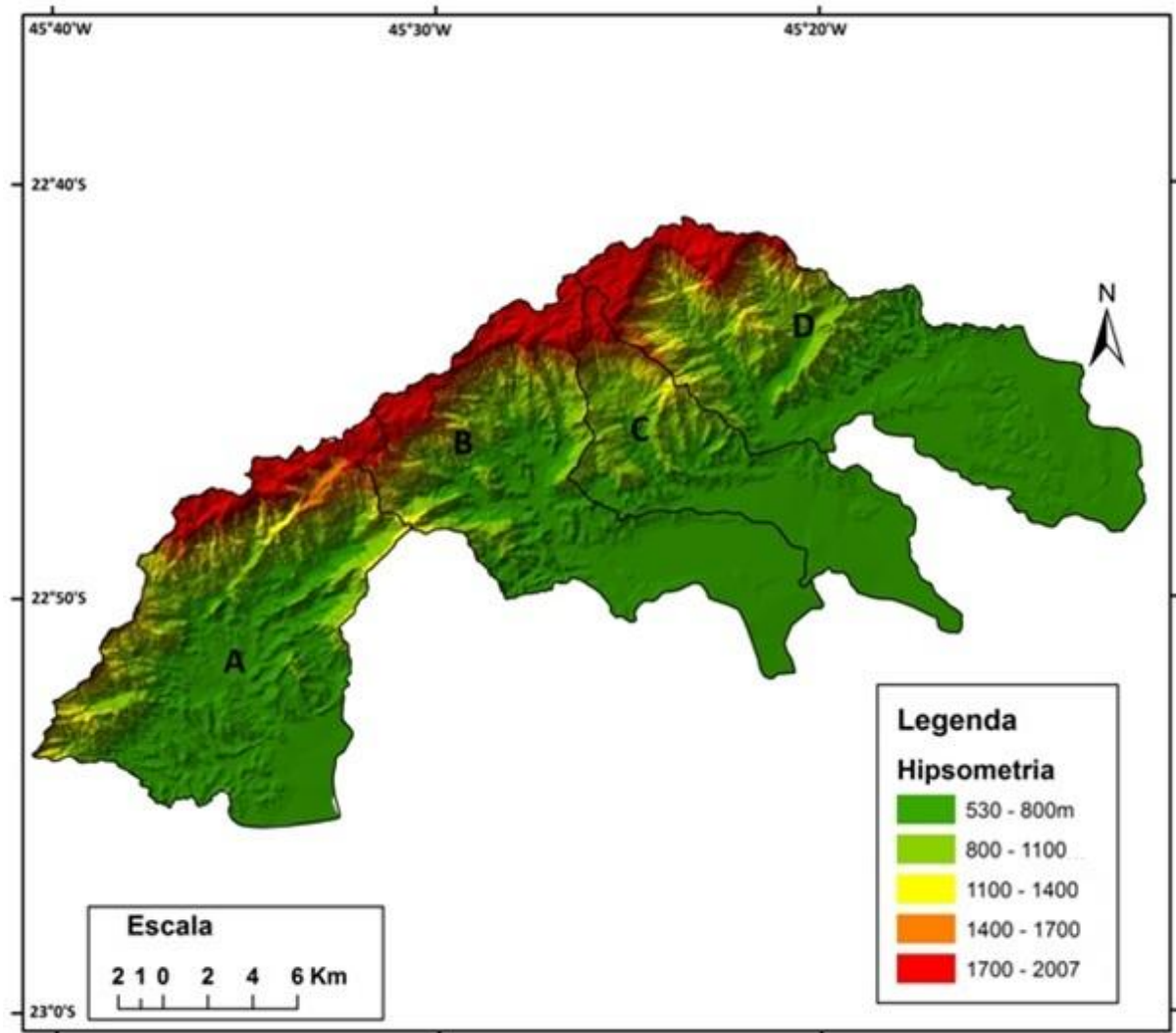


Figura 2- Mapa hipsométrico das microbacias do Piracuama (A) , Grande (B), Buenos (C) e Guaratinguetá (D).

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

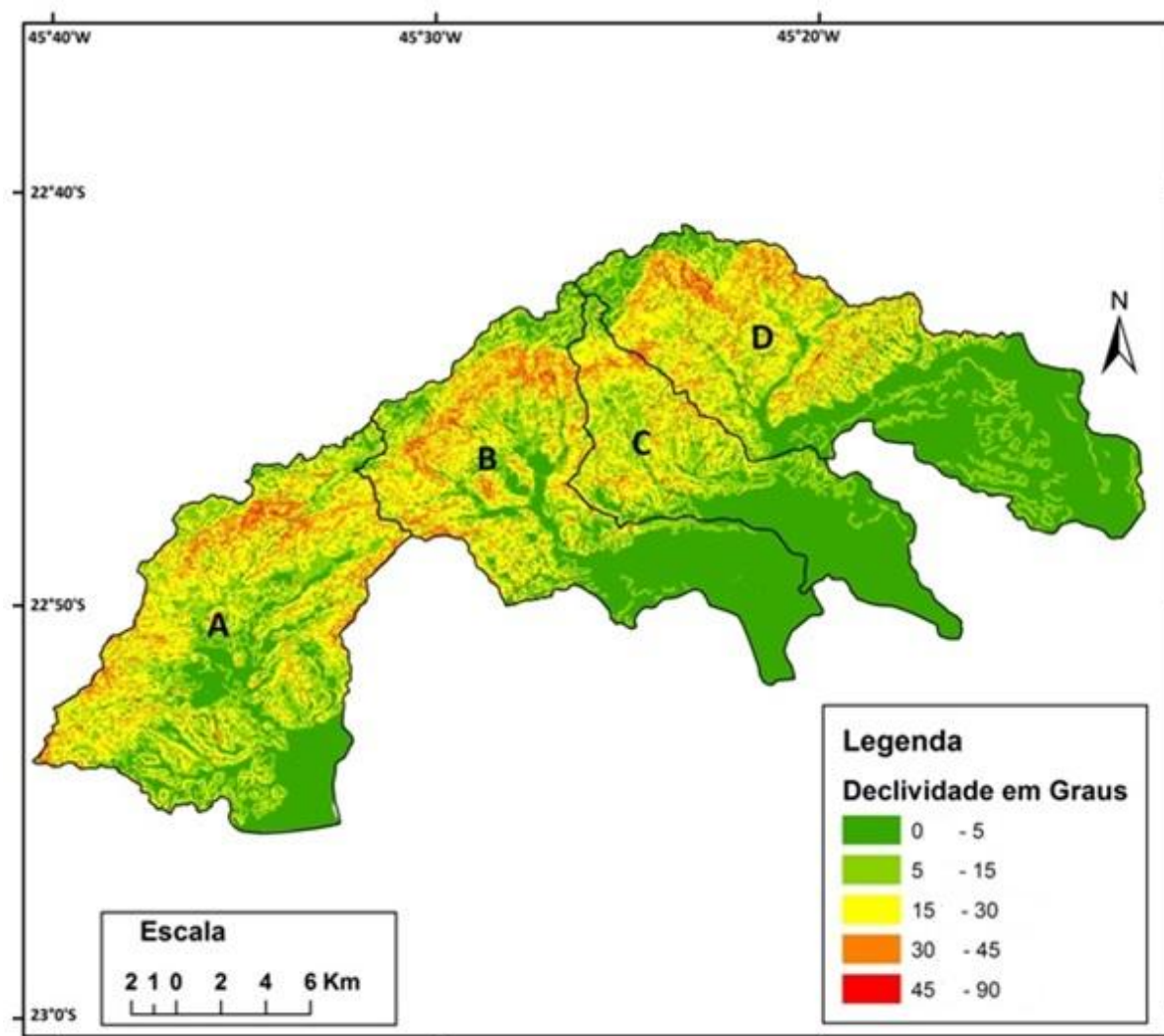


Figura 3- Mapa de declividade das microbacias do Piracuama (A), Grande (B), Buenos (C) e Guaratinguetá (D).

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

A hierarquia fluvial na classificação de Shreve no exutório é de 505, 225, 127 e 323; a densidade de drenagem é de 2,6377; 2,2921; 2,1540 e 2,5965; o coeficiente de compacidade é 1,50; 1,86; 1,87 e 1,63 e o índice de circularidade é de 0,4389; 0,2840; 0,2799 e 0,3675 para as microbacias do Piracuama, Grande, Buenos e Guaratinguetá, respectivamente.

Na encosta da Mantiqueira, os vales fluviais assumem uma feição na forma de V; verificam-se rápidos e poções; o leito do canal é constituído pela rocha matriz nos trechos de maior declividade e por médios e grandes blocos de rochas nos trechos onde a declividade é um pouco menor; a morfologia predominante dos canais deste setor é a reta (*Straight*).

Na área de transição entre a encosta da Mantiqueira e o Vale do Paraíba, há atulhamento do fundo dos vales por sedimentos oriundos de montante e no leito dos canais predominam pequenos e médios seixos; a morfologia dos vales apresenta-se predominantemente na forma *Mangedoura* (CHRISTOFOLETTI, 1981); as morfologias dos canais mais comuns neste setor são as entrelaçado (*Braided*) e meandrante (*Meandering*).

No Vale do Paraíba, devido à baixa declividade dos canais, há um ligeiro aprofundamento dos mesmos, na tentativa de manter a velocidade e competência. No entanto, nota-se a predominância de material de menor granulometria, na calha dos canais, constituído principalmente por pequenos seixos, areia e silte. Os canais da forma meandrante (*Meandering*) são predominantes neste setor, no entanto, devido às interferências antrópicas, há expressivos trechos onde os canais foram retilínezados, especialmente nas áreas ocupadas pela rizicultura.

De acordo com São Paulo (1984), a geologia da área é composta por rochas cristalinas nas áreas serranas e rochas sedimentares no Vale do Paraíba, observando-se formações Pliocênicas e Pleistocênicas nas áreas mais distantes dos canais fluviais, enquanto que predominam formações Holocênicas próximas aos seus leitos (Figura 4).

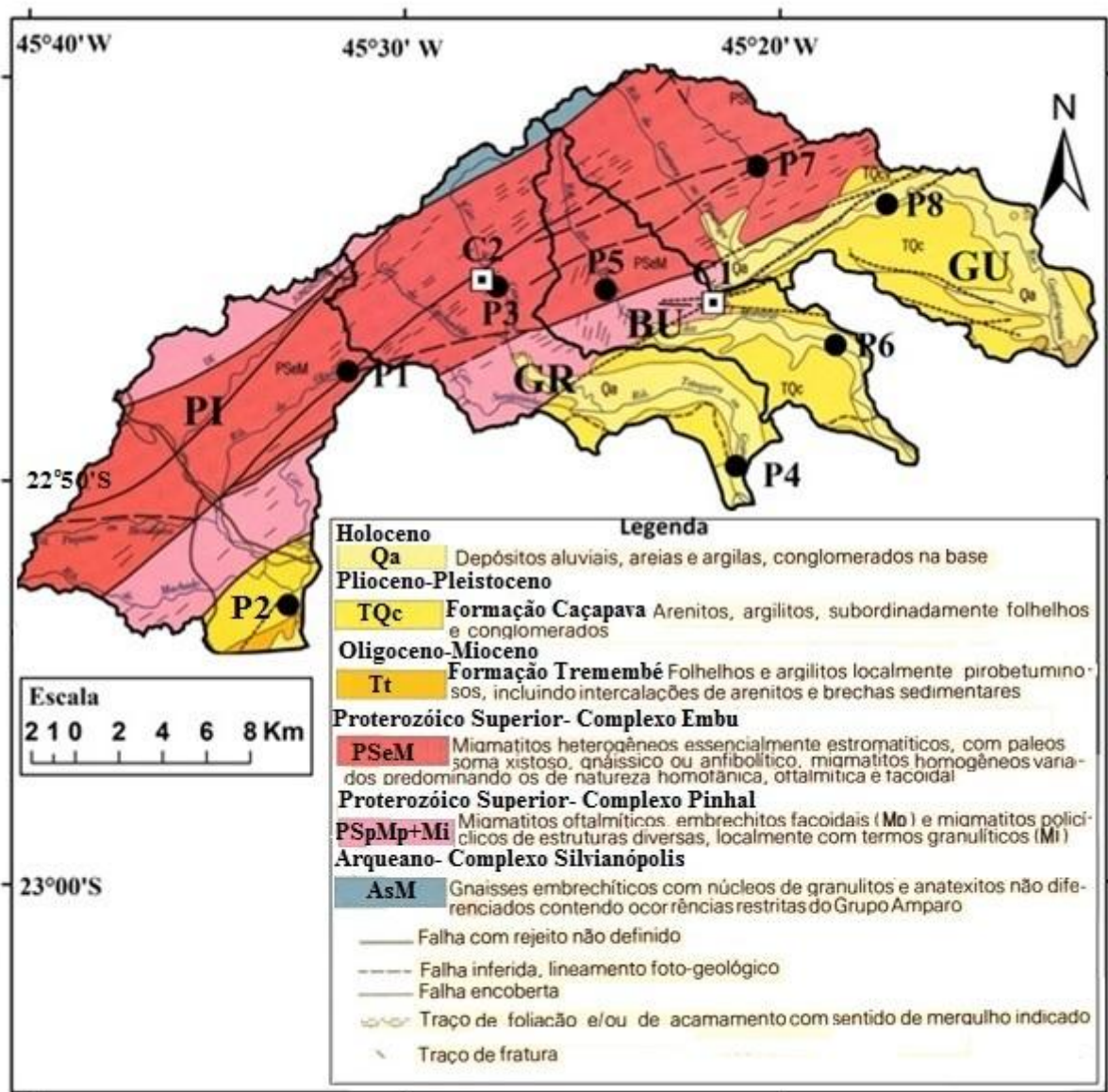


Figura 4- Mapa Geológico, com a localização dos pontos amostrais de dados físicos e químicos da água (fluviométricos: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8; pluviométricos: C1 e C2) das microbacias do Piracuama (PI), Grande (GR), Buenos (BU) e Guaratinguetá (GU).

Fonte: São Paulo (1984). Organização: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

Segundo Salvador (1994), os processos que deram origem à formação da província geomorfológica do Planalto Atlântico tiveram origem em eventos de tectonismo do final do Cretáceo e início do Cenozóico; estes processos deram origem a blocos elevados e abatidos, formando altos e depressões tectônicas, em parte preenchidas por sedimentos.

De acordo com Malabarba e Lundberg (2007), a formação do Rift, bacia de Taubaté, ocorreu no Eoceno e Oligoceno durante o processo de abertura do oceano Atlântico. Durante

este período foi formado o Rift continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que é um sistema de falhamento que se estende no sentido SW para NE, do Paraná até o estado do Rio de Janeiro.

Com relação ao Vale do Paraíba, Riccomini (1989 apud, SALVADOR, 1994, p.40) afirma que os sedimentos Cenozóicos pertencentes à formação Tremembé são de idade Paleogênica, afirmação reiterada, posteriormente, quando os classificou, desta vez, como Oligocenos, sendo assim, mais específico (RICCOMINI, GIANNINI e MANCINI, 2003). A respeito da formação Pindamonhangaba, Riccomini (1989 apud, SALVADOR, 1994, p.40) a classifica como de idade Neogênica a Pleistocênica, sendo menos específico, posteriormente, quando a classifica apenas como Cenozóica (RICCOMINI, GIANNINI e MANCINI, 2003).

Maciel (2009) ressalta a importância dos processos neotectônicos no entalhamento do talvegue das drenagens e atual geomorfologia do Sudeste brasileiro. Gauttieri, Hiruma e Riccomini (2001) afirmam que o relevo da serra da Mantiqueira oriental teve a formação das suas últimas feições de relevo, recentemente, em função de movimentos tectônicos do Holoceno, entre 3000 e 10000 anos.

Segundo Lepsch (2002) há um predomínio de Argissolos, Latossolos (vermelho-amarelos), Cambissolos e Neossolos Litólicos (estes 2 últimos, principalmente, na área da escarpa na Mantiqueira) na região. Com relação aos Argissolos, o autor afirma que estes eram anteriormente chamados de Podzólicos Vermelho-Amarelo.

O clima das microbacias, segundo o IBGE (BRASIL, 1986) é do tipo “Cf”, na classificação de Köppen, ou seja, verifica-se a precipitação máxima de verão inferior a 10 vezes a do mês mais seco; a precipitação do mês mais úmido do inverno é inferior a 3 vezes a do mês mais seco e as chuvas de verão são superiores a 40mm. A estação chuvosa vai de outubro a abril, quando caem 1480,5mm de chuva, que representam 94,30% das precipitações; o período mais seco do ano ocorre principalmente durante o Outono e Inverno, de maio a setembro, quando apenas 5,70% das precipitações ocorrem⁵.

De acordo com o IBGE (BRASIL, 1986), no setor de cimeira da serra da Mantiqueira, o clima é do tipo “Cfb” na classificação de Köppen, em função da altitude, que confere ao clima tropical esta configuração mais amena e a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C. Na área de planície, no Vale do Paraíba, o clima é do tipo “Cfa” na classificação de Köppen, ou seja, mais quente do que o “Cfb” e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C.

⁵ Dados relativos ao ano de 2011 e mensurados por 2 pluviômetros instalados em campo dentro das microbacias estudadas.

Maasdam e Smith (1994) ao estudarem parâmetros físicos e químicos e a qualidade da água de 35 rios distribuídos nas ilhas do Norte e do Sul da Nova Zelândia concluíram que o grau de desenvolvimento do pastoreio é o mais importante fator que afeta os parâmetros físicos e químicos e a qualidade da água nestes rios.

Atualmente, as microbacias estudadas possuem 58% da vegetação formada por gramíneas (utilizadas principalmente para a pecuária) e 42% por vegetação arbóreo/arbustiva (Figura 5); no entanto, a vegetação original predominante na área era a Mata Atlântica, mas no Vale do Paraíba esta vegetação foi praticamente toda substituída pela rizicultura e por pastagens utilizadas principalmente para a pecuária leiteira que são as principais atividades econômicas das microbacias (LOURENÇO, CONCEIÇÃO e BRAGA, 2013).

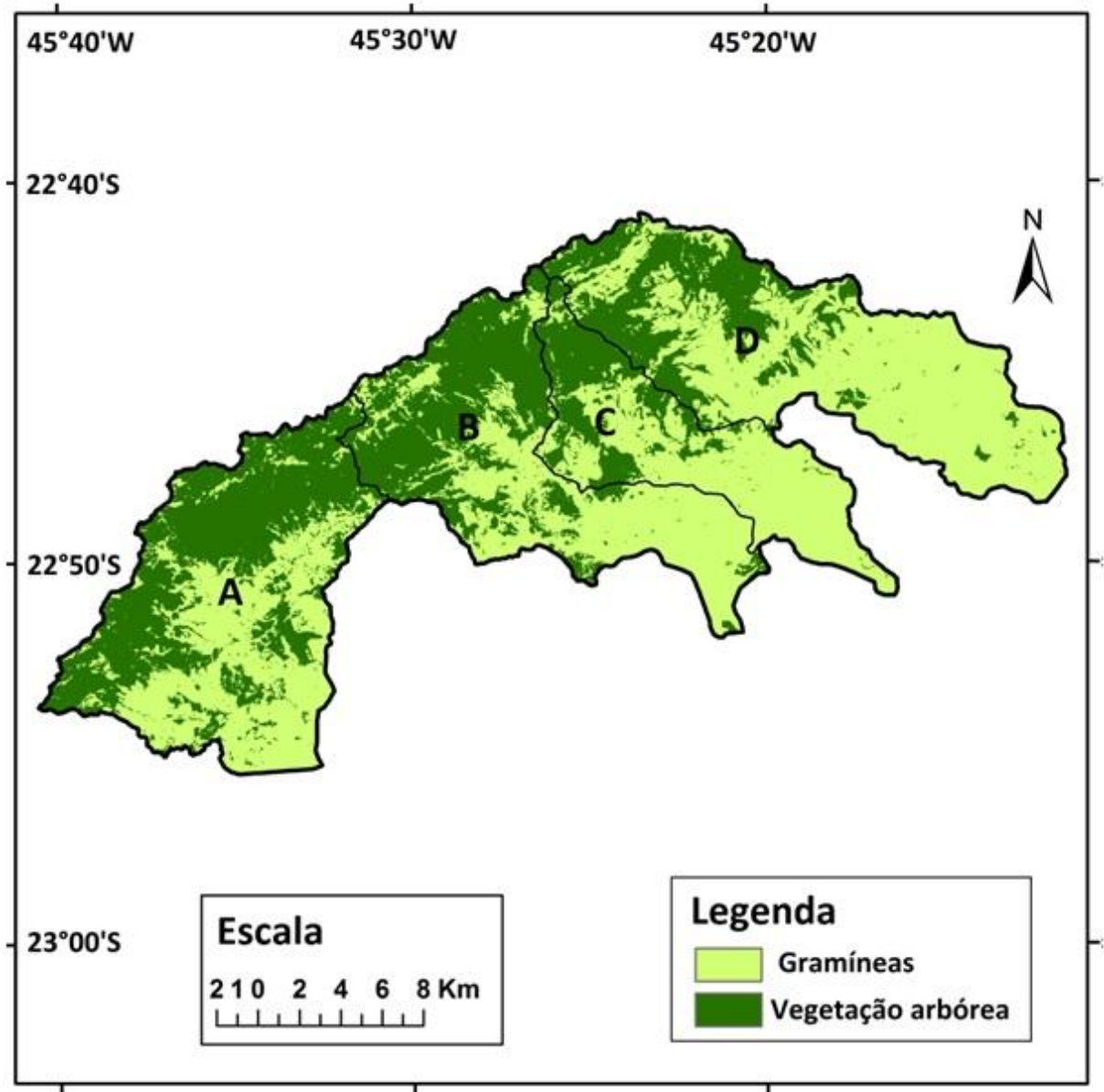


Figura 5- Uso da terra das microbacias do Piracuama (A) , Grande (B), Buenos (C) e Guaratinguetá (D). Imagem classificada Landsat5 TM RGB543.

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

Na encosta da Mantiqueira, onde a declividade do terreno é mais acentuada, a vegetação atual ainda é formada por fragmentos de Mata Atlântica que, de modo geral, são compostos por mata secundária; nas áreas com declividades um pouco menores predominam eucalipto cultura e pastagens utilizadas de forma extensiva. As microbacias do Piracuama e do ribeirão Grande são as que detêm as maiores porcentagens de mata nativa, localizadas principalmente, nos seus médios e altos cursos.

Na cimeira da Mantiqueira predominam campos de altitude que são utilizados para a pecuária leiteira e ovinocultura; também existem alguns fragmentos de Mata Atlântica de altitude, também chamada de Mata de Neblina por alguns autores, como Hueck (1972).

Dados geomorfológicos regionais e de cobertura vegetal.

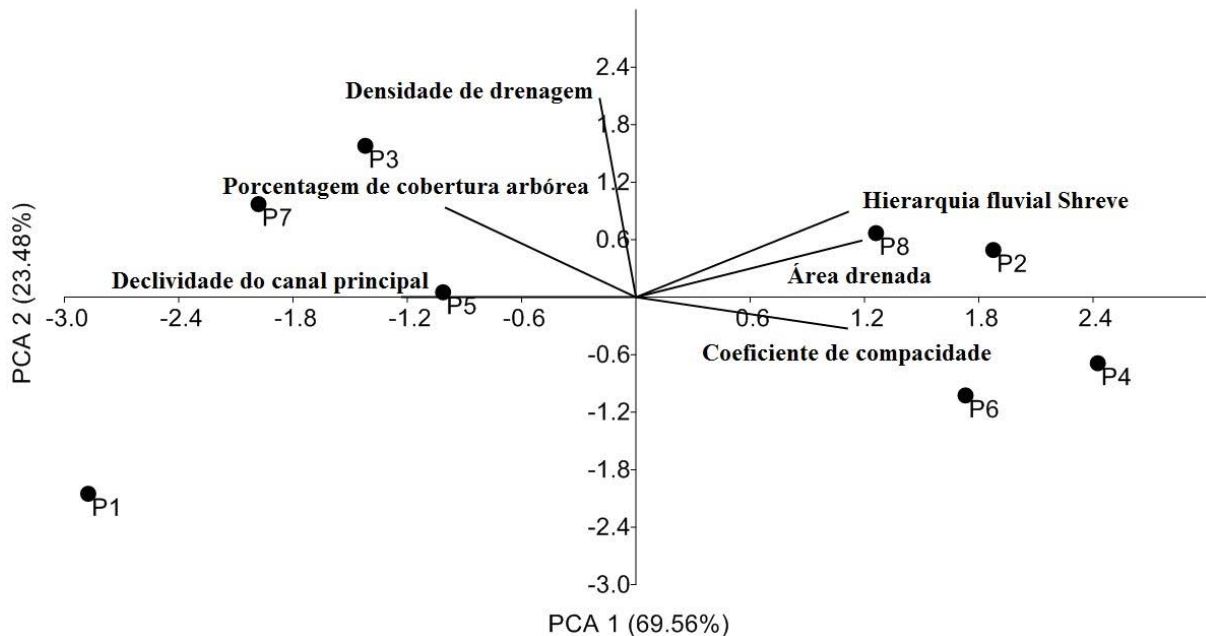
Algumas das variáveis geomorfológicas regionais e a de cobertura vegetal selecionadas para as análises de correlação com os dados físicos e químicos estão correlacionadas entre si, tais como: hierarquia fluvial Shreve, com a área drenada e declividade do canal principal; a área drenada, com a declividade do canal principal; o coeficiente de compacidade, com a declividade do canal principal (Tabela 1). Este resultado também pode ser visto no gráfico gerado pela análise de componentes principais (PCA) (Gráfico 1).

Tabela 1- Coeficiente de correlação de Karl Pearson com nível de significância $\alpha = 0,05$ e grau de liberdade de $N - 2$ para as variáveis regionais de hierarquia fluvial Shreve (SFH), área drenada (DA), porcentagem de cobertura arbórea (PVC), coeficiente de compacidade (CC), densidade de drenagem (DD), declividade canal principal (DC). Os valores em negrito são os que apresentaram correlação significante.

	(SFH)	(DA)	(PVC)	(CC)	(DD)	(DC)
hierarquia fluvial Shreve (SFH)	1,00	0,99	-0,54	0,71	0,25	-0,89
área drenada (DA)		1,00	-0,64	0,80	0,11	0,94
porcentagem de cobertura arbórea (PVC)			1,00	-0,66	0,50	0,80
coeficiente de compacidade (CC)				1,00	-0,30	-0,87
densidade de drenagem (DD)					1,00	0,15
declividade canal principal (DC)						1,00

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2013.

Gráfico 1- Gráfico gerado a partir da análise de componentes principais (PCA) considerando as variáveis de hierarquia fluvial Shreve, área drenada, porcentagem de cobertura arbórea, coeficiente de compactidade, densidade de drenagem e declividade do canal principal em pontos localizados na serra da Mantiqueira oriental, nas microbacias do rio Piracuama (P1 e P2), ribeirão Grande (P3 e P4), ribeirão dos Buenos (P5 e P6) e rio Guaratinguetá (P7 e P8). As porcentagens de explicação dos eixos são mostradas entre parênteses.



Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2013.

Avaliação da dinâmica anual dos elementos físicos e químicos da água e sua correlação com variáveis geomorfológicas regionais e de cobertura vegetal das microbacias.

Entender a dinâmica dos elementos que são derivados da precipitação, do intemperismo ou de fontes antrópicas e biológicas é de fundamental importância para o planejamento ambiental adequado de uma bacia hidrográfica. Garrels e Mackenzie (1967) modelaram a abundância e proporção relativa de íons dissolvidos em águas superficiais, usando um balanço de massa.

White e Blum (1995) propuseram que a dinâmica química de uma bacia hidrográfica é estabelecida pela quantidade de elementos químicos presentes na água dos rios, que sempre é o resultado da entrada de elementos via precipitações mais as interações rocha/solo e antrópicas, com a água presente no sistema que, quando não evaporada, chegará aos canais fluviais, por via superficial ou subterrânea estabelecendo, deste modo, as características químicas das águas presentes nos rios; ou seja, durante a passagem da água das precipitações

pelas rochas ocorre a solubilização de elementos, fazendo com que as águas subterrâneas tenham, normalmente, uma maior concentração de elementos que as águas pluviais. Conseqüentemente, normalmente as águas superficiais também serão mais enriquecidas em elementos solubilizados que as águas pluviais devido às interações da água com rocha/solo, o meio biótico e ações antrópicas sobre o sistema, tais como agricultura, pecuária e desflorestamento.

Na serra da Mantiqueira oriental a média mensal da vazão dos rios apresentou uma grande variação entre o período mais chuvoso e menos chuvoso (Tabela 2) o que está diretamente correlacionado com as precipitações, uma vez que, durante o período menos chuvoso (5 meses do ano), quando apenas 5,7% da precipitações ocorreram, os rios são abastecidos exclusivamente pela água armazenada no solo e rochas, mas no período chuvoso há uma grande quantidade de água disponível no sistema que, além de saturar o armazenamento subterrâneo, escoar (superficialmente e sob a superfície) em grandes quantidades para os canais fluviais.

Tabela 2- Médias mensais dos dados fluviométricos e pluviométricos de Vazão, Condutividade, Temperatura, pH, oxigênio dissolvido, Sólidos totais dissolvidos (TDS), Sólidos totais em suspensão (TSS), Ca, Mg, Na, K, Cl⁻, F⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ e NO₃⁻ do período chuvoso (MPC) e menos chuvoso (MPMC) das microbacias dos rios Piracuama, Grande, Buenos e Guaratinguetá.

		Dados Fluviométricos						Dados Pluviométricos	
		8 pontos		4 pontos montante		4 pontos jusante		média dos 2 coletores	
		(MPC)	(MPMC)	(MPC)	(MPMC)	(MPC)	(MPMC)	(MPC)	(MPMC)
Vazão	(m³/s)	3,86	0,93	0,97	0,26	6,75	1,59		
CE	(μS/cm)	19,39	19,75	17,00	18,30	21,79	21,20	5,51	16,27
Temperatura	(°C)	20,87	17,17	19,67	16,49	22,07	17,86		
pH		6,42	6,83	6,45	6,90	6,39	6,77	5,17	5,37
OD	(mg/L)	6,80	7,00	7,14	7,08	6,45	6,92		
TDS	(mg/L)	14,32	14,88	12,96	14,05	15,68	15,70	4,05	11,10
TSS	(mg/L)	23,11	5,88	11,46	2,45	34,75	9,30		
Ca	(mg/L)	3,52	3,53	3,26	3,44	3,78	3,62	1,37	2,78
Mg	(mg/L)	1,81	2,03	1,54	1,80	2,08	2,26	0,30	1,36
Na	(mg/L)	1,12	0,45	1,35	0,76	0,90	0,15	30,30	22,71
K	(mg/L)	1,67	1,59	1,47	1,47	1,86	1,72	0,62	1,68
Cl⁻	(mg/L)	0,92	0,65	0,65	0,59	1,20	0,72	0,63	0,95
F⁻	(mg/L)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	0,03
PO₄³⁻	(mg/L)	0,29	0,09	0,30	0,08	0,27	0,09	0,17	0,13
SO₄²⁻	(mg/L)	0,73	0,13	0,54	0,05	0,93	0,20	0,12	0,42
NO₃⁻	(mg/L)	0,42	0,31	0,36	0,27	0,49	0,35	0,31	0,29

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2013.

A análise regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) demonstrou que a vazão encontra-se diretamente correlacionada com a hierarquia fluvial na classificação de Shreve e área drenada (Tabela 3) o que condiz com a dinâmica da maioria das bacias hidrográficas de clima tropical úmido do planeta.

Tabela 3- Resultados compilados das análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) para as variáveis regionais de hierarquia fluvial Shreve (SFH), área drenada (DA), porcentagem de cobertura arbórea (PVC), coeficiente de compacidade (CC), densidade de drenagem (DD), declividade do canal principal (DC) e as variáveis físicas e químicas das águas fluviais de vazão, condutividade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos totais em suspensão (TSS), Ca, Mg, Na, K, Cl⁻, F⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ e NO₃⁻.

	Unidades	Variáveis importantes	p-valor	R ²
vazão	(m ³ /s)	SFH; DA	0,0273	76,57%
condutividade	(μS/cm)	não há correlação		
temperatura	(oC)	SFH; DA; PVC; CC; DC	0,0029	99,87%
pH		não há correlação		
OD	(mg/L)	CC	0,0179	63,41%
TDS	(mg/L)	não há correlação		
TSS	(mg/L)	DA	0,0229	60,36%
Ca	(mg/L)	não há correlação		
Mg	(mg/L)	PVC	0,037	53,98%
Na	(mg/L)	não há correlação		
K	(mg/L)	PVC	0,0486	50,03%
Cl⁻	(mg/L)	CC; DD	0,0173	80,69%
F⁻	(mg/L)	DD	0,0292	57,21%
PO₄³⁻	(mg/L)	SFH; DA; CC; DD	0,0497	92,46%
SO₄²⁻	(mg/L)	DA; CC	0,0304	75,50%
NO₃⁻	(mg/L)	SFH; DA; PVC; DC	0,0425	93,22%

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2013.

A condutividade das águas fluviais tende a aumentar no sentido montante para jusante e também há um pequeno aumento da condutividade durante o período menos chuvoso do ano para as águas fluviais; no entanto, para as águas pluviais, existe uma grande diferença nos valores de condutividade entre os 2 períodos do ano (Tabela 2). Estas diferenças de condutividade, tanto no que diz respeito às águas fluviais como pluviais, provavelmente estão correlacionadas à maior concentração de íons dissolvidos na água.

A temperatura da água dos rios permaneceu mais baixa durante o período menos chuvoso, que coincide com a época mais fria do ano no estado de São Paulo. Os pontos situados a montante apresentaram menores temperaturas em relação aos de jusante (Tabela 2), que devem estar relacionadas, principalmente, às diferenças de altitude, que influenciam o clima local; no entanto, a análise regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) demonstrou que a temperatura apresentou correlação com a porcentagem de cobertura por

vegetação arbórea (Tabela 3), o que corrobora que o sombreamento promovido pela vegetação deve contribuir para o decréscimo da temperatura da água nas áreas onde a mata nativa encontra-se mais preservada. A análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) também demonstrou correlações da temperatura da água com a hierarquia fluvial na classificação de Shreve, área drenada, coeficiente de compacidade e declividade do canal principal; no entanto, estas correlações, provavelmente, estão associadas à altitude, que tende a ser menor nas áreas onde as 3 primeiras variáveis são mais elevadas e maior onde a declividade dos canais é mais elevada.

De acordo com Krauskopf (1972, p.29) uma solução neutra tem pH igual a 7; águas correntes de regiões úmidas normalmente apresentam pH com valores que vão de 5 a 6,5 e em regiões áridas, de 7 a 8.

Nas microbacias estudadas, o pH se manteve mais ácido durante o período mais chuvoso tanto para as águas fluviais quanto para as pluviais (Tabela 2); resultados também verificados por Conceição e Bonotto (2004) para as águas pluviais na bacia do rio Corumbataí.

Krauskopf (1972, p.29) ressalta a importância da presença da matéria orgânica em decomposição no rebaixamento do pH da água. No período mais chuvoso, tanto no alto como no baixo curso dos rios, há um maior transporte de matéria orgânica para dentro dos canais, feito pelas enxurradas; além disso, no baixo curso, os canais transbordam para a sua planície de inundação, cobrindo consideráveis extensões de vegetação que, ao se decompor, contribui para a acidificação da água; por isto, nos pontos de jusante, o pH registrado foi ligeiramente menor.

Nas águas pluviais a diferença de pH entre o período mais chuvoso e menos chuvoso foi pequena, mas em ambos os períodos do ano o pH ficou abaixo de 5,5, valor ligeiramente inferior ao verificado por Whitehead e Feth (1964) para a Califórnia, em uma área próxima à cidade de San Francisco, que variou de 5,5 a 6,4. O pH verificado para as precipitações das bacias estudadas indica que as chuvas que caem na região são ligeiramente ácidas, provavelmente devido à proximidade da serra da Mantiqueira oriental com as cidades do Vale do Paraíba e área metropolitana de São Paulo, regiões altamente industrializadas e com uma frota de milhões de veículos movidos a combustíveis fósseis. O baixo pH das chuvas registrado para a região, provavelmente, está acelerando os processos de intemperismo químico.

O oxigênio dissolvido se manteve elevado durante todo o ano (Tabela 2), tendo uma tendência geral de permanecer mais elevado durante a estação menos chuvosa em função das

menores temperaturas e taxas de decomposição da matéria orgânica, presentes neste período. No entanto, nos 4 pontos de montante houve um pequeno aumento do oxigênio dissolvido na estação mais chuvosa o que demonstra que o aumento da turbidez da água, provocado pelo aumento da vazão, teve maior efeito para elevar o oxigênio dissolvido do que as maiores temperaturas e disponibilidade de matéria orgânica para decomposição tiveram para baixá-lo. Nos 4 pontos de jusante, onde o leito do rio é menos acidentado e, portanto, há menos turbidez na água, o aumento da temperatura e da decomposição da matéria orgânica durante o período mais chuvoso fizeram com que o oxigênio permanecesse mais baixo neste período do ano.

A análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) demonstrou correlação do oxigênio dissolvido, das águas fluviais, com o coeficiente de compacidade (Tabela 3), o que pode ser explicado pela estreita correlação do coeficiente de compacidade com a declividade dos canais (Tabela 1), onde, quando a declividade aumenta, o coeficiente de compacidade diminui, ou seja, nos pontos de montante, onde em função da declividade, a turbidez da água é maior, o coeficiente de compacidade é menor e a jusante, onde a turbidez da água é menor e há mais matéria orgânica nos canais, o coeficiente de compacidade é maior.

Os sólidos totais dissolvidos (TDS), presentes nos rios, permaneceram mais elevados durante o período menos chuvoso do ano (Tabela 2), o que está em conformidade com o padrão verificado para rios de climas tropicais, com uma estação mais seca e outra chuvosa. Isto ocorre porque durante este período os rios são abastecidos quase que exclusivamente pela água subterrânea que está carregada com elementos químicos dissolvidos em função do intemperismo químico.

Whitehead e Feth (1964) encontraram grande variação nas concentrações de TDS, para as águas pluviais, que apresentaram valores de 8,2 a 38 mg/L. Na serra da Mantiqueira oriental houve uma expressiva diferença na concentração de TDS entre os períodos do ano (Tabela 2), onde na estação menos chuvosa as concentrações ficaram muito mais elevadas porque devido a escassez de chuvas a atmosfera permanece mais carregada de partículas em suspensão e de elementos químicos; por isto, as poucas precipitações que ocorrem nesta época do ano, apresentam concentrações bem maiores (em mg/L) de TDS do que na estação chuvosa, onde as constantes chuvas mantêm a atmosfera mais límpida. Na estação menos chuvosa, quando a atmosfera encontra-se mais carregada de partículas e gases poluentes, também ocorre maior deposição seca que é misturada às águas pluviais, nos coletores instalados para esta pesquisa, elevando os valores de TDS.

De acordo com Angino (1983, p.171) os sólidos totais em suspensão (TSS) afetam a concentração de componentes orgânicos e inorgânicos presentes na água e, portanto, a sua qualidade.

Nas microbacias estudadas, os sólidos totais em suspensão (TSS) são mais abundantes durante a estação mais chuvosa (Tabela 2) devido à maior turbulência das águas dos rios e aporte de sedimentos em decorrência dos processos erosivos provocados pelas enxurradas que ocorrem durante as precipitações mais intensas deste período do ano. A análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) demonstrou correlação dos TSS com a área drenada (Tabela 3), resultado que corrobora que os TSS tendem a aumentar no sentido montante para jusante; estes mesmos resultados podem ser verificados na tabela 2.

O Ca e o Mg estão entre os elementos químicos mais abundantes nas águas fluviais das microbacias estudadas (Tabela 2), provavelmente porque são mais sensíveis ao intemperismo químico, quando há uma acidificação dos solos, o que claramente está ocorrendo nas microbacias estudadas, uma vez que a região está submetida a chuvas ácidas e o pH dos rios ficou abaixo de 7. Uma parte do Ca encontrado nas águas fluviais pode ser proveniente de adubação agrícola e/ou fezes do gado, pois de acordo com Asawalam e Onwudike (2011), as fezes do gado apresentam consideráveis concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio e sódio.

Nas águas pluviométricas os valores registrados neste estudo (Tabela 2) ficaram ligeiramente superiores aos verificados por Gambell e Fisher (1966) para a Carolina do Norte e Virginia (Estados Unidos) e Whitehead e Feth (1964) para a Califórnia, próximo a San Francisco. Junge e Werby (1958), ao analisarem a média dos dados de estações do interior dos EUA, durante um ano, também verificaram valores de Ca ligeiramente inferiores aos mensurados na serra da Mantiqueira oriental.

O Mg da água dos rios foi o único elemento químico que apresentou uma concentração em mg/L, significativamente maior no período menos chuvoso do que no período mais chuvoso (Tabela 2). Isto sugere que o Mg presente nas águas dos rios durante o período menos chuvoso, provavelmente é predominantemente originário da interação das águas subterrâneas que abastecem os rios nesta época do ano, com os migmatitos, que estão presentes em grande parte das microbacias estudadas (Figura 4). Um outro aspecto interessante da dinâmica do Mg nas microbacias estudadas foi sua correlação com a porcentagem de cobertura por vegetação arbórea (PVC) demonstrada pela análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) (Tabela 3), evidenciando que uma parte

significativa do Mg presente nas microbacias está sendo absorvido pela vegetação arbórea; portanto, a concentração de Mg é menor onde há mais vegetação arbórea.

O Mg parece ser o único dos elementos químicos mensurados onde a litologia tem um papel importante em seu fluxo anual, uma vez que, a presença do Mg foi maior na estação menos chuvosa onde há um menor contato das águas fluviais com a vegetação ripária, porque os rios permanecem mais encaixados em seus canais devido à menor vazão. Neste período do ano, o escoamento superficial das águas pluviais sobre o solo é praticamente inexistente porque as precipitações são escassas e, normalmente, de pequena intensidade, possibilitando que a água precipitada fique retida pela vegetação ou percole rapidamente no solo, não formando enxurradas. Por isto, durante o período menos chuvoso, a litologia tem um papel mais importante na composição química das águas fluviais, uma vez que, nesta época do ano, praticamente toda a água presente nos canais é oriunda do solo e do embasamento rochoso.

O Na permaneceu baixo para as águas fluviais em ambos os períodos do ano (Tabela 2); no entanto, no período mais chuvoso, os valores são um pouco maiores, o que provavelmente está correlacionado ao considerável aporte de Na promovido pelas precipitações, uma vez que estas apresentam uma concentração considerável em ambos os períodos do ano; contudo, durante a estação menos chuvosa a água das precipitações raramente chega aos rios porque fica retida pela vegetação ou percola no solo; por isto, provavelmente, as precipitações influenciam nas concentrações de Na das águas fluviais somente durante a estação mais chuvosa. As maiores concentrações de Na verificadas para os pontos de águas fluviais situados a montante corroboram a correlação do Na dos rios com as precipitações, uma vez que, nos pontos de montante, as precipitações são mais intensas do que a jusante, devido ao efeito orográfico da serra da Mantiqueira.

Nas águas pluviais o Na teve uma concentração muito superior aos demais elementos químicos mensurados. Em outros estudos realizados em outras áreas do mundo, como os de Whitehead e Feth (1964) e Gambell e Fisher (1966), os valores de Na (mg/L), para as águas pluviais, apresentaram-se sensivelmente inferiores aos mensurados na serra da Mantiqueira oriental.

O K dos rios (em mg/L) ficou um pouco mais elevado durante o período mais chuvoso do ano e também nos pontos de jusante (Tabela 2) o que indica que provavelmente está ocorrendo um pequeno aporte deste elemento devido a práticas agrícolas e/ou devido à lixiviação das fezes e urina do gado para os rios. O K também demonstrou correlação com a porcentagem de cobertura por vegetação arbórea (Tabela 3), o que demonstra que ela está retendo parte do potássio que não está chegando aos rios por causa disto. No entanto, é

importante ressaltar que o transporte de K em rios ocorre maiormente através de partículas em suspensão, como resalta Albarède (2011, p. 338).

Assim como o potássio, o Cl⁻ ficou um pouco mais elevado durante o período mais chuvoso do ano e também nos pontos de jusante (Tabela 2), mas diferentemente do potássio que é largamente adicionado no solo pelo homem, o Cl⁻ presente nas águas fluviais das microbacias, provavelmente é predominantemente originário das precipitações, especialmente durante a estação mais chuvosa do ano, uma vez que, de acordo com Graede e Keene (1996), trata-se de um elemento químico altamente solúvel e, portanto, raramente encontrado no solo ou em rochas, exceto em drenagens arréicas, onde pode formar depósitos juntamente com o Na.

Uma parte do Cl⁻ presente nas águas fluviais pode ser originária da urina do gado que, durante a estação mais chuvosa, é carregada para os rios pela água das precipitações. Sua correlação com o coeficiente de compacidade e densidade de drenagem (Tabela 3) corroboram que sua concentração aumenta no sentido montante para jusante, ou seja, quando o coeficiente de compacidade aumenta, a quantidade de Cl⁻ presente nas águas fluviais também aumenta e se a densidade de drenagem aumenta, a quantidade de Cl⁻ diminui.

A quantidade de Cl⁻ (em mg/L) precipitada na área estudada é superior aos resultados obtidos por Junge e Werby (1958) e por Gambell e Fisher (1966); no entanto, é muito inferior aos resultados obtidos por Whitehead e Feth (1964), que chegaram a registrar 17mg/L.

A quantidade de F⁻ verificada nas microbacias foi muito baixa, tanto para as águas fluviais como para as pluviais (Tabela 2); isto ocorreu porque a litologia e as atividades antrópicas presentes nas microbacias parecem não interferir significativamente na quantidade de F⁻ presente, assim como, aparentemente, as industriais do Vale do Paraíba e área metropolitana de São Paulo também parecem não interferir sobre as precipitações de F⁻ na área estudada. No entanto, houve correlação (Tabela 3) entre o F⁻ e a densidade de drenagem, sugerindo que nas áreas serranas, onde a densidade de drenagem é maior, as concentrações de F⁻ nas águas fluviais são ligeiramente menores.

O PO₄³⁻ presente nas águas fluviais apresentou correlação com as variáveis geomorfológicas regionais de hierarquia fluvial na classificação de Shreve, área drenada, coeficiente de compacidade e densidade de drenagem (Tabela 3), mas permaneceu baixo nas microbacias estudadas durante todo o ano; no entanto, apresentou um significativo aumento durante o período mais chuvoso do ano (Tabela 2); este aumento pode estar ligado a diversas fontes, como a lixiviação das fezes e urina do gado e do fósforo usado na agricultura para os rios durante este período do ano e também pelo acréscimo de PO₄³⁻ realizado pelas águas

pluviais, uma vez que, durante o período mais chuvoso do ano, as concentrações de PO_4^{3-} também aumentam na água das precipitações (Tabela 2).

O SO_4^{2-} presente nas águas fluviais das microbacias aumenta no sentido montante para jusante e também na estação mais chuvosa (Tabela 2). Sua correlação positiva com o aumento da área drenada e com o coeficiente de compacidade (Tabela 3) corroboram este aumento no sentido montante para jusante. Estes resultados, provavelmente, estão ligados à maior decomposição de matéria orgânica que ocorre durante o período mais chuvoso, uma vez que, neste período as temperaturas são mais elevadas, mais matéria orgânica é levada para os rios pelas enxurradas e, no baixo curso, os canais extravasam para suas planícies de inundação, cobrindo áreas de vegetação. A origem do SO_4^{2-} presente nas precipitações (Tabela 2), provavelmente, está ligada à poluição do ar gerada nas cidades do Vale do Paraíba e área metropolitana de São Paulo; no entanto, os valores registrados neste estudo ficaram muito abaixo dos registrados por Gambell e Fisher (1966); Whitehead e Feth (1964) e Junge e Werby (1958).

O NO_3^- presente nas microbacias apresenta uma dinâmica muito semelhante ao do SO_4^{2-} , uma vez que, também aumenta no sentido montante para jusante e na estação mais chuvosa (Tabela 2); sua presença nas águas pluviais, como ocorre com o SO_4^{2-} , também deve estar associada à poluição atmosférica, apresentando valores inferiores aos verificados em outros estudos (WHITEHEAD e FETH, 1964; CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004). A origem do NO_3^- nas águas fluviais das microbacias pode estar ligada à lixiviação de fertilizantes agrícolas e das fezes e urina do gado para os rios; também há um aporte considerável via precipitações durante o período mais chuvoso do ano.

Os resultados da análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) demonstraram correlações do NO_3^- com a hierarquia fluvial da classificação de Shreve e área drenada (Tabela 3), que aumentam juntamente com as concentrações de NO_3^- . As correlações verificadas com declividade do canal principal e porcentagem de cobertura por vegetação arbórea (Tabela 3) são negativas, ou seja, reduzem a quantidade de NO_3^- presente nas águas fluviais. Estas correlações corroboram que o NO_3^- aumenta no sentido montante para jusante e também demonstram que a vegetação arbórea está retendo uma parte dele, não deixando que este chegue aos rios. Moreira-Nordemann, Girard e Poppi (1997) ressaltam a importância das atividades biológicas do solo como uma das principais fontes de SO_4^{2-} e NO_3^- em bacias hidrográficas de clima tropical.

Os parâmetros geoquímicos mensurados, das águas fluviais, na serra da Mantiqueira oriental encontram-se abaixo dos valores verificados por outros estudos realizados em bacias

de clima tropical como, por exemplo, os resultados obtidos por Conceição e Bonotto (2004). Os elementos químicos de Na, Mg, Ca, K, Cl^- , SO_4^{2-} e F^- verificados neste estudo (Tabela 2), ficaram abaixo da média mundial para as águas fluviais (COMPTON et al., 2000). No caso do NO_3^- a União Europeia recomenda que todos os países pertencentes a ela devem possuir valores inferiores a 50mg/L para as suas águas subterrâneas (RIVETT et al., 2007). Os valores de NO_3^- verificados, tanto nas águas fluviais como pluviais, neste estudo (Tabela 2), ficaram muito abaixo dos considerados adequados para a potabilidade da água que, de acordo com Sperling, (2007, p.31) são de 10 mg/L; portanto, no que se refere ao NO_3^- , toda a água mensurada nas microbacias estudadas é potável.

Nas águas pluviais o mesmo resultado pode ser observado para os dados de SO_4^{2-} e NO_3^- , que tiveram valores muito inferiores aos verificados por Conceição e Bonotto (2004), apesar da serra da Mantiqueira estar próxima a grandes centros industriais do Brasil; no entanto, as concentrações de alguns elementos químicos das águas pluviais (em mg/L) foram relativamente altas, principalmente o Na, que apresentou valores elevados.

Balanco de massa das microbacias.

O balanço de massa é uma descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam em um sistema com limites físicos definidos (SPERLING, 2007, p.198).

Apesar de nem sempre as concentrações em mg/L dos elementos químicos contidos na água serem maiores durante o período mais chuvoso do ano (Tabela 2), a quantidade total transportada destes elementos, em toneladas por km^2 , durante a época chuvosa, sempre foi muito superior, tanto para as águas pluviais como para as fluviais (Tabela 4); isto se deve porque, tanto as precipitações quanto as vazões, são acentuadamente maiores na estação mais chuvosa do ano. Estes resultados estão de acordo com a dinâmica verificada para outros rios brasileiros como o rio Corumbataí (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004) e o rio Sorocaba (FERNANDES et al., 2012).

Tabela 4- Total anual (TA) e médias mensais dos dados fluviométricos e pluviométricos do período chuvoso (MPC) e menos chuvoso (MPMC) dos dados de Ca, Mg, Na, K, Cl⁻, F⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, sólidos totais dissolvidos (TDS) e sólidos totais em suspensão (TSS), em toneladas por km², das microbacias dos rios Piracuama, Grande, Buenos e Guaratinguetá.

	Dados Fluviométricos									Dados Pluviométricos		
	8 pontos			4 pontos montante			4 pontos jusante			média dos 2 coletores		
	TA	MPC	MPMC	TA	MPC	MPMC	TA	MPC	MPMC	TA	MPC	MPMC
Ca	4,425	0,527	0,148	4,854	0,568	0,175	3,997	0,485	0,121	2,164	0,285	0,034
Mg	2,317	0,271	0,084	2,383	0,275	0,092	2,251	0,268	0,075	0,470	0,055	0,017
Na	1,412	0,186	0,022	1,588	0,200	0,037	1,237	0,172	0,006	47,655	6,630	0,248
K	2,357	0,289	0,067	2,476	0,300	0,076	2,238	0,278	0,058	0,921	0,113	0,026
Cl⁻	1,583	0,209	0,024	1,285	0,167	0,024	1,880	0,251	0,024	1,169	0,157	0,014
F⁻	0,075	0,009	0,003	0,082	0,010	0,003	0,067	0,008	0,002	0,047	0,006	0,001
PO₄³⁻	0,294	0,040	0,003	0,304	0,041	0,004	0,283	0,038	0,003	0,244	0,034	0,002
SO₄²⁻	1,235	0,172	0,006	1,254	0,176	0,004	1,216	0,168	0,008	0,124	0,015	0,003
NO₃⁻	0,570	0,072	0,013	0,592	0,075	0,014	0,548	0,069	0,013	0,430	0,059	0,004
TDS	18,017	2,153	0,589	19,357	2,290	0,666	16,676	2,017	0,512	5,988	0,762	0,131
TSS	68,676	9,660	0,211	76,100	10,792	0,112	61,253	8,529	0,310			

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2013.

A quantidade total de sólidos totais dissolvidos (TDS), assim como a de sólidos totais em suspensão (TSS) (Tabela 4) é bem mais modesta nas águas fluviais das microbacias estudadas do que a verificada nas bacias com rochas vulcânicas (RAD, ALLÉGRE, LOUVAT, 2007; LOUVAT e ALLÉGRE, 1998; DAS et al., 2005; PORDER, HILLEY, CHADWICK, 2007; GÍSLASON, ARNÓRSSON, ARMANNSSON, 1996; LOUVAT e ALLÉGRE, 1997; GOLDSMITH et al., 2009; NICHOLS et al., 2005). Quando comparada aos valores verificados por Grasby e Hutcheon (2000), que estudaram uma bacia sedimentar cárstica, localizada na costa oeste do Canadá, os valores de TDS verificados para a serra da Mantiqueira oriental são mais de 3 vezes inferiores; no entanto, Grasby e Hutcheon (2000) encontraram apenas, aproximadamente 1,1 tonelada por km² de TSS, uma vez que, a dissolução do calcário e as reações químicas resultantes deste processo contribuem para decantar os sedimentos em suspensão presentes nas águas fluviais. Fernandes et al. (2012) ao estudarem a bacia do rio Sorocaba (estado de São Paulo- Brasil) verificaram um transporte anual de TSS de 55,7 toneladas por km², valor ligeiramente inferior ao verificado na serra da Mantiqueira oriental. Spatti Junior et al. (2014) quando estudaram a microbacia do ribeirão Monjolo Grande (estado de São Paulo- Brasil) com uma litologia formada

predominantemente por arenitos e pequenas ocorrências de basalto, verificaram um intemperismo químico (TDS) de 6,33 toneladas por km² e de 31 toneladas por km² de intemperismo físico (TSS), valores bastante inferiores aos verificados para a serra da Mantiqueira oriental.

Com exceção do Cl⁻, para todos os demais elementos químicos mensurados e para os sólidos totais em suspensão, os pontos situados a montante foram os que apresentaram os maiores valores de material transportado em toneladas por km² (Tabela 4), o que indica que as taxas de intemperismo físico e químico são mais elevadas a montante, apesar destes pontos também serem os que detêm a maior porcentagem de área coberta por vegetação arbórea. Isto provavelmente está ligado a uma série de fatores, tais como: a maior densidade de drenagem destes pontos, maiores precipitações devido ao efeito orográfico da serra da Mantiqueira e, talvez, principalmente a acentuada declividade do terreno e dos canais dos pontos de montante em relação aos de jusante, onde o relevo é muito mais plano.

Com relação às águas pluviais, os valores mensurados na serra da Mantiqueira oriental de NO₃⁻ e SO₄²⁻ são menores que os verificados para as cidades de Manaus (DANELON E MOREIRA-NORDEMANN, 1991), Campo Grande (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; POPPI, 1997), Cubatão (WILLIANS, FISHER, MELACK, 1997), Piracicaba (LARA et al., 2001) e Rio Claro (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004), demonstrando que apesar da sua proximidade com as cidades do Vale do Paraíba e com a área metropolitana de São Paulo, a poluição do ar é baixa na serra da Mantiqueira e não está tendo muita influência sobre a maioria dos parâmetros químicos da água da chuva. Outro estudo desenvolvido por Clair, Schwarcz e Kramer (1989) para 4 bacias situadas na Nova Escócia (Canadá) demonstrou valores de cerca de duas toneladas por km² ao ano para o SO₄²⁻ nas águas das precipitações, o que é superior aos valores verificados para a Mantiqueira; neste estudo, os autores afirmam que apenas de 15 a 30% do SO₄²⁻ e NO₃⁻ precipitados têm origem marinha, sendo o restante oriundo da poluição atmosférica.

Os valores de K verificados para as águas pluviais na serra da Mantiqueira foram superiores aos obtidos em Manaus (DANELON E MOREIRA-NORDEMANN, 1991), Campo Grande (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; POPPI, 1997), Piracicaba (LARA et al., 2001) e Rio Claro (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004). O mesmo pode ser dito com relação ao Ca e Mg, onde os valores verificados na Mantiqueira foram superiores aos mensurados em todas as cidades citadas acima, exceto Rio Claro. O PO₄³⁻ apresentou valores superiores aos verificados em Manaus (DANELON e MOREIRA-NORDEMANN, 1991), mas inferiores aos verificados em Rio Claro (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004).

Os valores de Cl⁻ das águas pluviais verificados para a serra da Mantiqueira oriental ficaram superiores aos medidos em Manaus (DANELON e MOREIRA-NORDEMANN, 1991), Campo Grande (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; POPPI, 1997) e Piracicaba (LARA, et al., 2001), mas inferiores aos mensurados em Cubatão (WILLIANS, FISHER, MELACK, 1997) e Rio Claro (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2004). O Na verificado na Mantiqueira foi muito superior aos valores verificados nas cidades referidas acima. A quantidade de Cl⁻ e Na que está presente nas precipitações que ocorrem na Mantiqueira pode ter alguma correlação com a evaporação da água marinha e precipitação desta na Mantiqueira, uma vez que, a água do mar é rica nestes 2 elementos químicos. Berner e Berner (1987) demonstraram que a água da chuva proveniente de regiões próximas aos oceanos é muito mais rica em Ca, Mg, Na, K, Cl⁻ e NO₃⁻ do que a água das precipitações ocorrentes em áreas continentais distantes dos oceanos, especialmente no que diz respeito ao Ca e Cl⁻, que podem alcançar valores até 5 vezes mais elevados.

Os dados relativos ao balanço de massa das microbacias indicam que, com exceção do Na, as microbacias estudadas estão perdendo massa, ou seja, a quantidade de elementos químicos que sai das microbacias é maior do que a que entra via precipitações, o que está de acordo com a dinâmica normalmente observada para bacias hidrográficas de clima tropical (Tabela 4). No entanto, para o ano em que as águas pluviais e fluviais foram coletadas (2011), a entrada de Na, no sistema, foi maior do que a sua saída e novas pesquisas devem ser realizadas para comprovar ou refutar a ocorrência deste fenômeno.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi a primeira a realizar um estudo extenso sobre os parâmetros físicos e químicos da água e o balanço de massa dos riachos da serra da Mantiqueira oriental, assim como, a primeira a investigar as correlações existentes entre a geomorfologia regional e cobertura vegetal com os parâmetros físicos e químicos da água e o balanço de massa.

A análise dos dados físicos e químicos das microbacias demonstrou que as taxas de intemperismo físico e químico são mais acentuadas no alto curso das microbacias e no período mais chuvoso do ano. Suas águas pluviais e fluviais apresentaram concentrações dentro dos padrões normais da maioria dos elementos químicos mensurados, com exceção para o pH das precipitações que permaneceu ácido durante todo o ano e as concentrações de Na das águas pluviais que apresentaram valores sensivelmente superiores aos verificados em outros estudos.

O Mg parece ser o único dos elementos químicos mensurados onde a litologia tem um papel importante em seu fluxo anual, uma vez que, a presença do Mg foi maior na estação menos chuvosa, onde há um menor contato das águas fluviais com a vegetação ripária porque os rios permanecem mais encaixados em seus canais devido à menor vazão. Neste período do ano, as precipitações são escassas e normalmente de pequena intensidade, possibilitando que a água precipitada fique retida pela vegetação ou percole rapidamente no solo, não transportando sedimentos para os rios. No período menos chuvoso do ano a litologia tem um papel mais importante na composição química das águas fluviais, uma vez que, nesta época do ano, praticamente toda a água presente nos canais é oriunda do solo e do embasamento rochoso.

Os resultados deste estudo também demonstraram que as microbacias estudadas constituem ambientes majoritariamente oligotróficos, ou seja, suas águas são pobres em nutrientes, especialmente durante o período menos chuvoso do ano. Isto tem um importante impacto sobre a biota local, especialmente sobre a ictiofauna.

Os resultados aqui obtidos também demonstraram a importância das variáveis geomorfológicas regionais e da vegetação na dinâmica anual dos parâmetros físicos e químicos da água e seu balanço de massa sugerindo que ações antrópicas que interfiram sensivelmente na geomorfologia regional e/ou no uso da terra podem causar alterações temporárias ou permanentes nos parâmetros físicos e químicos da água, assim como, no balanço de massa das microbacias estudadas.

REFERÊNCIAS

ALBARÈDE, F. Introduction to Geochemical Modeling. Cambridge: Ed. Syndicate of the University of Cambridge, 1996, 543 p.

ALBARÈDE, F. Geoquímica uma introdução. Tradução de ANDRADE, F. R. D. de, São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2011, 400 p.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Instituto Geológico e Geográfico. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo: IGG, 1964, v.41, p. 167-262.

ANGINO, E. E. Geochemistry and water quality. In THORNTON, I. (Org.). Applied Environmental Geochemistry. London: Ed. St Edmundsbury press Ltd, 1983. p. 171-199.

ARAÚJO, F. G. Adaptação do Índice de Integridade Biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do sul. Rev. Brasil. Biol. v. 58, n.4, p. 547-558, 1998.

ARAÚJO, F. G.; FICHBERG, I.; PINTO, B. C. T.; PEIXOTO, M. G. A preliminary index of Biotic Integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast of Brazil. Environmental Management. v. 32, n. 4, p. 516-526, 2003.

ASAWALAM, D. O.; ONWUDIKE, S. U. Complementary Use of Cow Dung and Mineral Fertilizer: Effect On Soil Properties, Growth, Nutrient Uptake And Yield of Sweet Potato (Ipomea batatas). Patnsukjournal. Umuahia, Abia State, Nigeria, v. 7, n. 1, p. 36-48, 2011.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. The global water cycle: Geochemistry and environment. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall. 1987.

BIZERRIL, C. R. S. F. A Ictiofauna da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Biodiversidade e Padrões Biogeográficos. Brazilian Archives of Biology and Technology. Curitiba, v.42, n.2, p.1-17, 1999.

BRAGA, F. M. S; ANDRADE, P. M. Distribuição de peixes na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira Oriental. Revista Iheringia, Porto Alegre, v. 95, n. 2, p. 121 – 126, 30 jun. 2005.

BRASIL (a). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil: Delfim Moreira**. Folha SF-23-Y-B-VI-1. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____ (b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil: Campos do Jordão**. Folha SF-23-Y-B-V-2. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____ (a). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil: Pindamonhangaba**. Folha SF-23-Y-B-VI-3. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. (b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Tremembé. Folha SF-23-Y-B-V-4. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Lorena. Folha SF-23-Y-B-VI-2. Rio de Janeiro, 1975. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Guaratinguetá. Folha SF-23-Y-B-VI-4-MI-2741-4. Rio de Janeiro, 1982. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Geográfico**. 3o ed. Rio de Janeiro, 1986. 114 p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: Druck, S.; Sá Carvalho, M. Câmara, G., Monteiro, A. M. V. (Org.). Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos: Ed. INPE, 2002. p. 1-26.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2 edição, São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1980. 177p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo, Ed. Edgard Blucher, 1981. 313p.

CLAIR, T. A.; SCHWARCZ, H. P.; KRAMER, J. R. The origins of sulfur in waters from four Nova Scotian basins, Canada. Journal of the international association of geochemistry and cosmochemistry. v. 4, p.93-98. 1989.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.) Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 12^a ed. 2013. p. 93-148.

COMPTON, J.; MALLINSON, D.; GLENN, C. R.; FILIPPELLI, G.; FÖLLMI, K.; SHIELDS, G.; ZANIN, Y. Variations in the global phosphorus cycle. In: CRAIG R. GLENN; LILIANE PRÉVÔT-LUCAS; JACQUES LUCAS (Org.) Marine Authigenesis: From Global to Microbial. Ed. Society for Sedimentary Geology SEPM, 2000. p.21-33.

CONCEIÇÃO, F. T. DA; BONOTTO, D. M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. Applied Geochemistry. v. 19, p. 575–591. 2004.

COSTA, T. C. Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13; 2007, Florianópolis. **Anais XIII**. São José dos Campos: INPE, 2007, p.2493-2500.

DANELON, O. M.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Ocorrência natural e antropogênica de Cl, NO₃⁻, NH₄⁺ e SO₄²⁻ na bacia do Rio Quilombo (Cubatão- SP). Revista Brasileira de Geociências v. 21, p. 96–101, 1991.

DAS, A.; KRISHNASWAMI, S.; SARIN, M. M.; PANDE, K. Chemical weathering in the Krishna Basin and Western Ghats of the Deccan Traps, India: rates of basalt weathering and their control. Geochim. Cosmochim. Acta v. 69, 2067–2084, 2005.

DEVOL, A. H.; FORSBURG, B. R.; RICHEY, J. E.; PIMENTEL, T. P. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimoes) River: a multiyear time series. Global Biogeochem. Cycles v. 9, p. 307–328, 1995.

DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J.; ROUSSEAU, D.; ALLÈGRE, C. J.; Major and trace elements of river-borne material. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 60, p. 1301–1321, 1996.

EDMOND, J. M.; PALMER, M. R.; MEASURES, C. I.; HUH, Y. Fluvial geochemistry of the eastern slope of the Northern Andes and its foredeep in the drainage of the Rinoco in Colombia and Venezuela. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 60, p. 2949–2976, 1996.

FERNANDES, A. M.; NOLASCO M. B.; HISSLER, C.; MORTATTI, J. Mechanical Erosion in a Tropical River Basin in Southeastern Brazil: Chemical Characteristics and Annual Fluvial Transport Mechanisms. Journal of Geological Research. p.1-8. 2012.

ESRI. ArcMap Tutorial. New York, 2008. Disponível em: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/pdf/ArcMap_Tutorial.pdf

GAILLARDET, J., DUPRÉ, B., ALLÈGRE, C.J., NÉGREL, P. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. Chem. Geol. v. 142, p. 141–173. 1997.

GAMBELL, A. W.; FISHER, D. W. Chemical composition of rainfall eastern north Carolina and southeastern Virginia. In: UNITED STATES OF AMERICA (Org.) US Geological Survey water-supply. Washington DC: Ed. US government printing office, paper 1535-k, 1966, p.1-41.

GARRELS, R. M.; MACKENZIE, F. T. Origin of the Chemical Compositions of Some Springs and Lakes. In: Werner Stumm (Org). Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, Washington, DC. Ed. American Chemical Society, 1967. p. 222-242.

GAUTTIERI, C. M.; HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C. Morphotectonics of a high plateau on the northwestern flank of the Continental Rift of southeastern Brazil. Geomorfology. n. 43, p. 257 – 271, ago 2001. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/geomorph>. Acesso em 22 jul 2008.

GERARDI, L. H. de; SILVA, B. C. N. Quantificação em Geografia. São Paulo: Ed DIFEL, 1981. 161p.

GÍSLASON, S. R.; ARNÓRSSON, S.; ARMANNSSON, H. Chemical Weathering of basalt in southwest Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. Am. J. Sci. v. 296, p. 837–907. 1996.

GOLDSMITH, S. T.; CAREY, A. E.; LYONS, W. B.; HICKS, D. M. Geochemical fluxes and weathering of volcanic terrains on high standing islands: Taranaki and Manawatu-Wanganui regions of New Zealand. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 79, p. 2248–2267, 2009.

GONÇALVES, C. da S.; BRAGA F. M. de S. Changes in ichthyofauna composition along a gradient from clearwaters to blackwaters in coastal streams of Atlantic forest (southeastern Brazil) in relation to environmental variables Neotropical Ichthyology, n.3, v.10, p. 675-684. 2012.

GRAEDEL, T. E.; KEENE, W. C. The budget and cycle of Earth's natural chlorine. Pure & Appl. Chem., v. 68, n. 9, p. 1689-1697, 1996.

GRASBY, S. E.; HUTCHEON, I. Chemical dynamics and weathering rates of a carbonate basin Bow River, southern Alberta. Appl. Geochem., v.15, p.67-77, 2000.

HACH, X., Water Analysis Handbook. 2 ed. Hach Company, Loveland, Colorado, USA. 1992.

HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, p. 4-9, 2001.

HO, W. H.; LEE, G. H. **Study on Land Use Management with Geographic Information Systems**. 2000. Apresenta textos sobre Sistemas de Informação Geográfica. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/aars/arcs/2000/ps2/ps205.pdf.htm>>. Acesso em: 24 ago. 2004.

HORTON R. E.. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, v. 56, p. 275-370, 1945.

HUECK, H. As florestas da América do Sul: Ecologia, composição e importância econômica. Tradução de R. Hans. Brasília/São Paulo: Ed. Univ. de Brasília / Ed. Polígono, 1972, 465 p.

JAE, M. Tutorial on maximum likelihood estimation. Journal of Mathematical Psychology, v.47 p. 90-100. 2003.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. 2 ed. São José dos Campos: ed. Parêntese, 2009. 598p.

JIN, L., SHAO, M., ZENG, L., ZHAO, D., TANG, D. Estimation of dry deposition fluxes of major inorganic species by canopy throughfall approach. Chinese Science Bulletin, v.51, n. 15, p. 1818-1823, 2006.

JUNGE, C. E.; WERBY, R. T. The concentration of chloride, sodium, potassium, calcium, and sulfate in rain water over the United States. Journal of Meteorology, v.15, n.5, p.417-425, out. 1958.

KONHAUSER, K.O., FYFE, W.S., KRONBERG, B. I. Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. Chem. Geol., v. 111, p. 155-175, 1994

KRAUSKOPF, K. B. Geoquímica uma introdução I. Tradução LANDO, M.; BOGUS, P.S. C. São Paulo: Ed.Polígono/Ed. USP, 1972, 294 p.

KRUK, N. S. ; VENDRAME, I. F. ; CHAN, C. S. ; LADEIRA, F. S. B. . Análise de Sensibilidade do Modelo Hidrológico Distribuído DHSVM aos Parâmetros de Vegetação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 14, n. 1, p. 75-84, 2009.

LAI, H. M., GAN, Z. L., JIN, Y. L. Weathering and soil formation rates based on geochemical mass balances in a small forested watershed under acid precipitation in subtropical China. Catena, v. 105, p. 11–20. 2013.

LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A.; AYRES, G. P.; FERRAZ, E. S. B.; BALLESTER, M. V. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River basin, southeast Brazil. Atmos. Environ. , v. 35, p. 4937–4945, 2001

LESACK, L. F. W., HECKY, R. E., MELACK, J. M. Transport of carbon, nitrogen, phosphorus, and major solutes in the Gambia River, West Africa. Limnol. Oceanogr. v. 29, p. 816–830, 1984.

LEGENDRE, P. & L. LEGENDRE. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier, 1998. 853 p.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de textos, 2002. 178 p.

LEWIS JR., W.M., HAMILTON, S.K., JONES, S.L., RUNNELS, D.D. Major element chemistry, weathering and element yields for the Caura River drainage Venezuela. Biogeochemistry, v.4, p. 159–181, 1987.

LOUVAT, P.; ALLÉGRE, C.J. Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry: Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 61, p. 3645–3669, 1997.

LOUVAT, P.; ALLÉGRE, C.J., Riverine erosion rates on Sao Miguel volcanic island, Azores archipelago. Chem. Geol., v. 148, p. 177–200, 1998.

LOURENÇO, J. M. R. M. F. **Caracterização geográfica e análise da distribuição horizontal da ictiofauna da microbacia do ribeirão dos Buenos ou Moreiras (Serra da Mantiqueira Oriental)**. 2009. 191f. Dissertação (Mestrado em Geografia, área de concentração: Organização do Espaço). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

LOURENÇO, J. M. R. M. F.; BRAGA, F. M. S. Hidrologia de microbacias hidrográficas: Descrição e avaliação de duas técnicas para a aferição da vazão. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA. 12, 2009, Uruguai. Caminando en una America Latina en transformación. Uruguai: Imprenta Gega, 2009. [Anais impresso] [CD rom] [*on line*]. Disponível em <<http://www.egal2009.com>>. Acesso em 24 jun. 2009.

LOURENÇO, J. M. R. M. F.; CONCEIÇÃO, F. T.; BRAGA, F. M. S. A ictiofauna de quatro microbacias hidrográficas neotropicais e sua correlação com a geomorfologia e uso do solo. In: CONVENCION INTERNACIONAL SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO, 9. Congreso sobre manejo de ecosistemas y biodiversidade, 4. Havana, 2013. p.736-759.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Aplicações do sensoriamento remoto na geografia. In: VENTURI, L. A. B. (Org). Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Ed. Oficina de textos, 2005. p. 33-54.

MAASDAM, R.; SMITH, D. G. New Zealand's National River Water Quality Network. Relationships between physico-chemical data and environmental factors. New Zealand's National River Water Quality Network, v.28, p.37-54, 1994.

MACIEL, D. L. P. **Aplicação de parâmetros morfométricos de elementos de drenagem para a caracterização da soleira de Arujá e a análise de processos neotectônicos**. 2009. 194f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Centro de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Guarulhos – UnG, Guarulhos, 2009.

MALABARBA, M. C.; LUNDBERG, J. G. A fossil loricariid catfish (Siluriformes: Loricarioidea) from the Taubaté Basin, eastern Brazil. Neotropical Ichthyology, n. 3, v.5, p. 263-270, 2007.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; RE' POPPI, N. Chemical composition of atmosphere precipitation in Campo Grande City-MS. Revista Brasileira Geof., v.15, n.1, p. 35–44, 1997.

NÉGREL, P., ALLÈGRE, C.J., DUPRÉ, B., LEWIN, E., Erosion sources determined by inversion of major and trace element ratios and strontium isotopic ratios in river water: The Congo Basin case. Earth Planet. Sci. Lett., n. 120, p. 59–76, 1993.

NICHOLS, K. K.; BIERMAN, P. R.; FINKEL, R.; LARSEN, J. Long-Term Sediment Generation Rates for the Upper Río Chagres Basin. In: HARMON, R.S. (Org.). The Río Chagres, Panama – Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed. Ed. Springer, 2005. p. 297–313

PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J. B.; LIMA, J. M. M. de; MULLER, S.; CESTONARO, T. Medição da vazão em rios pelo método do flutuador. Comunicado Técnico, Concórdia-SC, 1 ed, versão eletrônica, p.1 – 4, jul. 2007.

PANCHER, A. M.; FREITAS, M. I. C. “Brownfields” têxteis em Americana. In: SEMINÁRIO DA PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP DE RIO CLARO. 4, 2004, Rio Claro. Anais... 2004.

PASCUTTI, A. H. F. G.; HASUI, Y.; SANTOS, M. dos; SOARES JÚNIOR, A. V.; SOUZA, I. A. de. As Serras do Mar e da Mantiqueira. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. dal R.; ALMEIDA, F. F. M. de; BARTORELLI, A. (Org.). Geologia do Brasil. São Paulo: Ed. Beca, 2012. p. 549-571.

PORDER, S.; HILLEY, G. E.; CHADWICK, O. A. Chemical weathering, mass loss, and dust inputs across a climate by time matrix in the Hawaiian Islands. Earth and Planetary Science Letters, v. 258, p. 414–427. 2007.

PROBST, J. L.; NKOUNKOU, R. R.; KREMPP, G.; BRICQUET, J. P.; THIEBAUX, J. P.; OLIVERY, J. C. Dissolved major elements exported by the Congo and Ubangi rivers during the period 1987–1989. Journal of Hydrology, v.135, p. 237–257, 1992.

RAD, S. D.; ALLÉGRE, C. J.; LOUVAT, P. Hidden erosion on volcanic islands. Earth and Planetary Science Letters, v.262, p.109–124, 2007.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e processos aluviais. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2ª ed, 2003. p.191-214.

RIVETT, M. O.; SMITH, J. W. N.; BUSS, S. R.; MORGAN, P. Nitrate occurrence and attenuation in the major aquifers of England and Wales. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v.40, p. 335-352, 2007.

SAITO, C. H. Considerações teórico-metodológicas acerca do potencial heurístico no uso de Sistema de Informação Geográfico integrado a banco de dados relacional em diagnóstico de risco à saúde populacional devido a poluição industrial. Brazilian Journal of Ecology, Rio Claro, n. 2, p. 15-21, 1997.

SALVADOR, E. D. **Análise neotectônica da região do vale do rio Paraíba do sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)**. 1994. 129f. Dissertação (mestrado em Geologia) Instituto de Geociências programa de pós-graduação em Geologia Sedimentar Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. von B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. de C. Hidrometria Aplicada, Ed. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de obras e do Meio Ambiente; Departamento de Águas e Energia Elétrica; Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas campus de Rio Claro. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Folha Guaratinguetá SF-23-Y-B**. São Paulo, 1984. 1 mapa, color. Escala 1:250.000.

SILVA, I. T.; RODRIGUES, S. C. Tutorial de cartografia geomorfológica: ARCGIS 9.2 e ENVI 4.0. Revista Geográfica Acadêmica, Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://www.rga.ggf.br/tutorialgeo.pdf>.

SPERLING, M. Von. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios, Belo Horizonte, Ed. UFMG, 2007, p.588.

SÚAREZ, Y. R.; PETRERE JÚNIOR, M. Gradientes de diversidade nas comunidades de peixes da bacia do rio Iguatemi, Mato Grosso do Sul, Brasil. Iheringia, Porto Alegre, v.96, n.2, p.197-204, 2006.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon: 1. Precipitation chemistry and marine contribution to dissolved load at the time of discharge. Journal of Geophysical Research, v.86, 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, p. 9671–9688, 1983.

STALLARD, R. F.; KOEHNKEN, L.; JOHANSSON, M. J. Weathering processes and the composition of inorganic material transported through the Orinoco River system, Venezuela and Colombia. Geoderma, v. 51, p. 133–165, 1991.

UNITED STATES OF AMERICA. Environmental Protection Agency. Stream flow. Washington: EPA, 1997. Cap 1, p. 134-138. Disponível em: <http://www.epa.gov/volunteer/stream/stream.pdf>

VOLPE, L. L. **Fragmentos de trilhos na paisagem de São Paulo: os brownfields ferroviários e sua refuncionalização.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, programa de Pós Graduação em Geografia, Rio Claro, 2013.

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

WHITEHEAD, H. C.; FETH, J. H. Chemical Composition of Rain, Dry Fallout, and Bulk Precipitation at Menlo Park, California, 1957-1959. Journal of geophysical research, v.69, n.16, p.3319-3333, ago. 1964. Disponível em <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JZ069i016p03319/pdf>.

WILLIAMS, M. R.; FISHER, T. R.; MELACK, J. M. Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon Brazil. Atmos. Environ. v.31, p. 207–217, 1997.

CAPÍTULO 2

A ICTIOFAUNA DE QUATRO MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NEOTROPICAIS E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS REGIONAIS.

RESUMO

Foram estudadas 4 microbacias hidrográficas que perfazem uma área de aproximadamente 500 km² (afluentes da margem esquerda do rio Paraíba do Sul), localizadas na serra da Mantiqueira oriental e Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. O objetivo foi de verificar quais são as influências das características geomorfológicas regionais das microbacias sobre as comunidades de peixes. Foram coletados dados da ictiofauna local (16 pontos foram amostrados com pesca elétrica durante um ano, com intervalo de 3 meses entre as amostras) a partir dos quais foram estimadas as variáveis biológicas de riqueza, abundância, diversidade de Shannon, equitabilidade e similaridade entre os pontos. Também foram medidas as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal, área drenada, distância dos pontos de coleta em relação à foz, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e densidade de drenagem. As variáveis geomorfológicas regionais foram coletadas e mensuradas em um sistema de informação geográfica (SIG). O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar o quanto as variáveis geomorfológicas regionais selecionadas encontram-se correlacionadas entre si. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizada para verificar a distribuição dos pontos amostrados em relação às variáveis geomorfológicas regionais medidas. Posteriormente, foram realizadas 5 análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) para avaliar se a ictiofauna local está correlacionada com as variáveis geomorfológicas regionais mensuradas. Os resultados demonstraram que: a) algumas das variáveis geomorfológicas regionais utilizadas encontram-se correlacionadas entre si; b) todas as variáveis geomorfológicas regionais utilizadas têm um relevante papel na estruturação das comunidades de peixes da região, mas, a declividade do canal principal parece ser a mais importante delas; c) os pontos de coleta da ictiofauna de encosta têm um menor número de espécies, diversidade de Shannon e equitabilidade do que os pontos que estão localizados na transição entre a encosta e a planície do Vale do Paraíba. No entanto, a abundância é maior na encosta em relação a transição, sugerindo que, além dos parâmetros geomorfológicos regionais mensurados, o parcial isolamento biogeográfico entre os pontos de montante e jusante, o espaço físico limitado, a menor disponibilidade de habitats e a maior instabilidade ambiental da encosta são fatores que devem afetar a ictiofauna.

Palavras-chave: Ictiofauna; correlação; variáveis geomorfológicas regionais; sistema de informação geográfica; serra da Mantiqueira oriental.

ABSTRACT

Four micro watersheds totaling an area of approximately 500 km² were studied. These micro watersheds are tributaries of the left bank of the Paraíba do Sul river and they are located in east sierra of Mantiqueira and Vale do Paraíba in the state of São Paulo. The goal of this study was to verify which are the influences of regional geomorphological characteristics of micro watersheds on the fish communities. Data from the local ichthyofauna were collected (16 sites were sampled with electrofishing for one year once every 3 months) from which biological variables of richness, abundance, Shannon diversity, equitability and similarity between the sites were estimated. Regional geomorphological variables of the main channel slope, drainage area, distance from sampled sites in relation to the mouth, compactness coefficient, circularity index and drainage density were also measured. The regional geomorphological variables were collected and measured in a geographic information system (GIS). The Pearson correlation coefficient was used to determine how much regional geomorphological selected variables are correlated. The Principal Component Analysis (PCA) was used to verify the distribution of the sampling sites in relation to regional geomorphological variables measured. Later, 5 multiple linear step-by-step (backward) regression analyzes were performed to assess if the local ichthyofauna is correlated to the measured regional geomorphological variables. The results showed that: a) some of the regional geomorphological variables used are correlated, b) all regional geomorphological variables used have an important role in the regional fish communities structure; however, the slope of the main channel seems to be the most important one, c) the slope sampled sites have a smaller number of species, Shannon diversity and equitability than the sampled sites located in the transition between the slope and the Vale do Paraíba plain; however, the abundance is higher in the slope and smaller in the transition which suggests that in addition to regional geomorphological parameters measured, the partial biogeographic isolation between the upstream and downstream sites, the limited physical space, less availability of habitats and greater environmental instability of the slope are factors that should be influence in the ichthyofauna.

Keywords: Ichthyofauna, correlation, regional geomorphological variables, geographic information system, east sierra of Mantiqueira

INTRODUÇÃO

Muitos estudos na área da ecologia buscam avaliar a influência das variáveis bióticas e abióticas, locais e regionais, sobre cada grupo de animais e vegetais existentes em um determinado sistema ambiental. Em relação a ictiofauna, associada aos rios brasileiros, existem muitas pesquisas que enfocam o papel das variáveis locais, naturais e antrópicas, sobre os ecossistemas (VIADANA, 1985; SABINO e CASTRO, 1990; BIZERRIL, 1995; SMITH, BARRELLA, CETRA, 1997; MONTAG, BARRELA, PETRERE Jr, 1997; MAZZONI e IGLESIAS, 2002; LIMA Jr, 2004; SÚAREZ, 2004; BRAGA e ANDRADE, 2005; PETESSE, 2006). Entretanto, ainda são poucas as pesquisas que buscam respostas a respeito do papel das variáveis regionais nesses sistemas ambientais.

Camargo et al. (1997) afirmam que ecossistemas aquáticos interagem fortemente com os ecossistemas terrestres circundantes e que vários estudos têm demonstrado que diferentes aspectos fisiográficos (geologia, geomorfologia, clima e uso e ocupação da terra) de bacias hidrográficas interagem para a determinação das características limnológicas de ecossistemas lóticos. Para Camargo et al. (1996), a fisiografia é o principal fator estruturador das características limnológicas em rios despoluídos e a poluição, nos rios poluídos.

Ribeiro (2006) ressaltou que há forte influência da geologia e evolução geomorfológica da América do Sul com a distribuição espacial atual da ictiofauna do Leste brasileiro, assim como, com seus processos de especiação. Bizerril (1998), ao estudar as correlações entre a geomorfologia e biodiversidade em uma bacia hidrográfica localizada no estado do Rio de Janeiro (Brasil), verificou correlações entre a área drenada, extensão total do canal principal, extensão total de todos os canais, ordem do rio (Strahler), riqueza de tributários (hierarquia fluvial na classificação de Shreve) e gradiente (declividade) com o número de espécies. Para Peres Neto, Bizerril e Iglesias (1995) existe uma estreita relação entre as alterações físicas dos canais e a estrutura das comunidades de peixes, especialmente no que diz respeito à diversidade. Araújo et al. (2001) afirmam que a bacia do rio Paraíba do Sul, atualmente, está submetida a severos impactos ambientais, principalmente em seus canais de ordem mais elevada. Deste modo, muitas de suas microbacias constituem uma espécie de refúgio para algumas espécies atualmente ameaçadas; para Gomiero e Braga (2006), são ambientes que podem apresentar algumas poucas espécies abundantes e muitas espécies raras. Braga, Gomiero e Souza (2009), afirmam que os rios da serra da Mantiqueira são ambientes lóticos, limitados espacialmente e frágeis no que diz respeito ao equilíbrio biológico, no entanto, aloca diversas espécies de peixes.

Nos últimos 10 anos, muitas pesquisas foram realizadas sobre a ictiofauna da serra da Mantiqueira, como os de habitat e distribuição de Andrade (2004); Braga (2004); Braga e Andrade (2005); Braga (2005a); Ingenito e Buckup (2007); Lourenço (2009); bem como pesquisas de biologia populacional, realizados por Andrade (2004); Braga, Gomiero e Souza (2009); Moraes e Braga (2011); Carmassi (2012) e aspectos biológicos da reprodução e alimentação por autores como Andrade (2004); Braga (2005b); Braga (2006); Braga, Gomiero e Souza (2008); Braga e Gomiero (2009); Rondineli (2010). No entanto, estas pesquisas se atêm principalmente a aspectos locais, não abordando a importância de parâmetros geomorfológicos regionais na estruturação das comunidades de peixes.

Esta pesquisa procurou avaliar se as variáveis geomorfológicas regionais interferem na estruturação das comunidades de peixes da serra da Mantiqueira oriental (ALMEIDA, 1964); para isto, os dados geomorfológicos regionais das microbacias estudadas foram gerados e gerenciados dentro de um sistema de informação geográfica (SIG) com o subsídio de um banco de dados informacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização geral da área de estudo.

As encostas da serra da Mantiqueira oriental apresentam inúmeros riachos que formam microbacias hidrográficas e vão tributar o rio Paraíba do Sul, no Vale do Paraíba (BRAGA (2004; BRAGA e ANDRADE, 2005). Nesta tese foram pesquisadas 4 microbacias hidrográficas, ou seja, as microbacias do rio Piracuama (164,43 km²), ribeirão Grande (133,76 km²), ribeirão dos Buenos (84,31 km²) e rio Guaratinguetá (162,31 km²) (Figura 1), que estão localizadas na serra da Mantiqueira oriental e Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, Brasil. Braga (2004) descreve estas bacias como microbacias, enfatizando suas diferenças entre suas nascentes até suas fozes no rio Paraíba do Sul. Estas são microbacias tributárias da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, que é um dos principais rios que compõe a macro região biogeográfica do Leste Brasileiro. De acordo com Bizerril (1994), esta região possui muitas espécies de peixes endêmicas, devido a eventos pretéritos de vicariância.

A área de estudo está localizada dentro do bioma da Mata Atlântica, que possui uma grande riqueza de espécies (LAMOREUX, et al., 2006); é considerada uma das 5 regiões prioritárias para a conservação da biodiversidade mundial (MYERS, et al., 2000), pois quase toda a sua vegetação foi destruída, restando apenas cerca de 5% de sua área original (MAZZONI e CERVIÁ, 2000). Atualmente, as microbacias estudadas possuem aproximadamente 58% da vegetação formada por gramíneas e 42% por vegetação arbórea/arbustiva (LOURENÇO, CONCEIÇÃO e BRAGA, 2013).

As microbacias estudadas têm suas nascentes mais altas localizadas no setor de cimeira da serra da Mantiqueira, a quase 2000 metros de altitude, onde formam riachos que, posteriormente, descem a escarpa de forma abrupta e, em seguida, escoam pela planície do Vale do Paraíba até atingir o rio Paraíba do Sul em altitudes muito inferiores que, no geral, estão ao redor dos 550 metros.

A geologia da área é composta por rochas cristalinas nas áreas serranas e rochas sedimentares no Vale do Paraíba, observando-se formações Pliocênicas e Pleistocênicas nas áreas mais distantes dos canais fluviais, enquanto que predominam formações Holocênicas próximas aos seus leitos (SÃO PAULO, 1984).

O clima das microbacias é do tipo “Cf” na classificação de Köppen, sendo que na cimeira da serra da Mantiqueira ele assume um padrão “Cfb” em função da altitude e na área de planície, no Vale do Paraíba, o clima é do tipo “Cfa” (BRASIL, 1986).

Lourenço (2009) dividiu as microbacias estudadas em 4 setores, que serão aqui denominados de cimeira, encosta, transição e planície. A ictiofauna foi amostrada em 2 destes setores (encosta e transição), em 16 pontos (Figura 1).

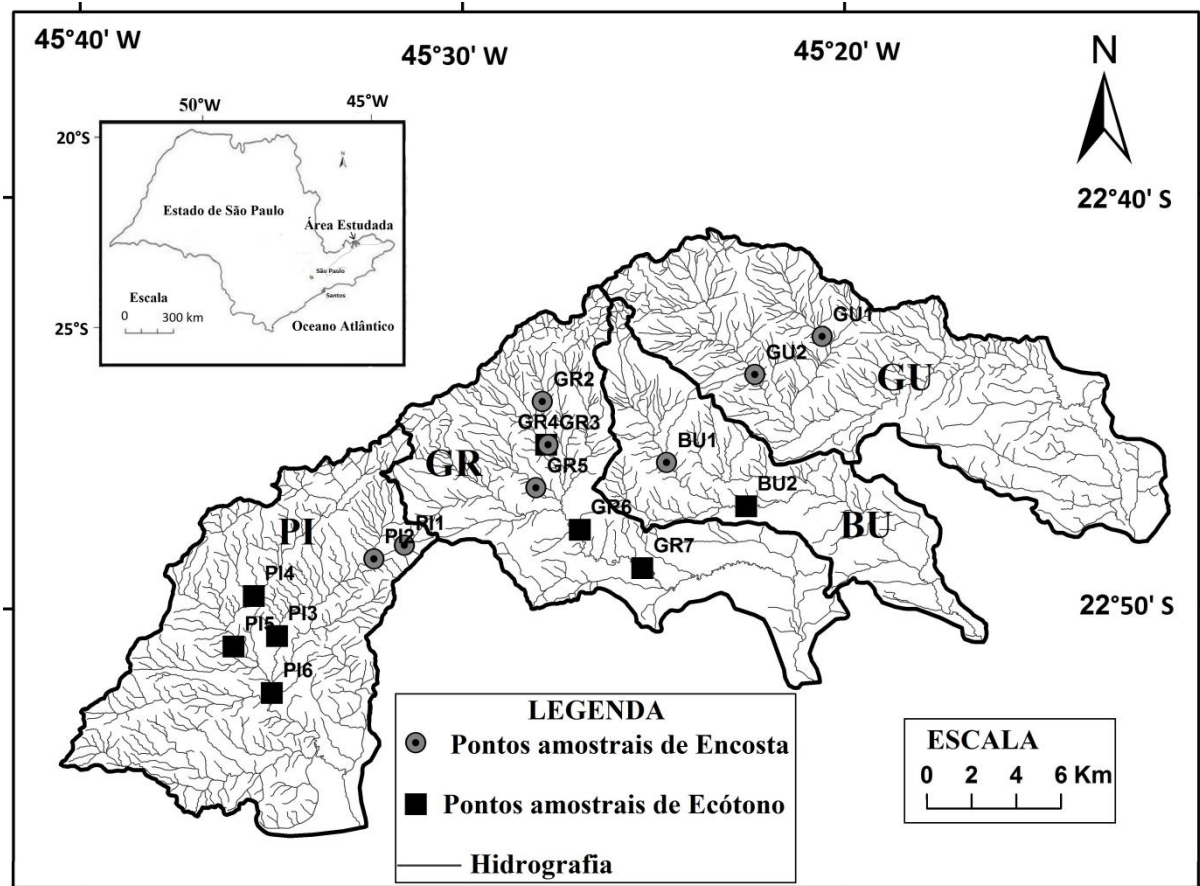


Figura 1- Localização dos pontos amostrais nas microbacias hidrográficas do rio Piracuama (PI), ribeirão Grande (GR), ribeirão dos Buenos (BU) e rio Guaratinguetá (GU).

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

Amostragem da ictiofauna.

As 4 microbacias foram amostradas durante um ano, com intervalos de 3 meses, porém em períodos distintos. No entanto, os procedimentos de amostragem e o processamento dos dados foram os mesmos para todos os locais. Os trabalhos de campo para coleta da ictiofauna no ribeirão Grande ocorreram nos meses de agosto e novembro de 2001 e fevereiro e maio de 2002 (ANDRADE, 2004). Os dados utilizados das microbacias do ribeirão dos Buenos e rio Guaratinguetá foram amostrados nos meses de maio, agosto, novembro de 2008 e fevereiro de 2009. Na microbacia do rio Piracuama as coletas foram realizadas entre os meses de abril, junho, outubro de 2009 e fevereiro de 2010 (LOURENÇO, 2009;

RONDINELI, 2010; CARMASSI, 2012). No total, foram realizadas 64 coletas de peixes e 16 pontos foram amostrados (8 pontos de encosta e 8 de transição).

As coletas da ictiofauna foram realizadas através do emprego da pesca elétrica. A passagem do aparelho foi repetida duas vezes em cada ponto amostral, perfazendo um trecho de 50 metros do canal. Nesta técnica são usados 2 puçás eletrificados com uma voltagem que variou entre 500 e 700 volts, com corrente direta.

Os exemplares da ictiofauna foram colocados em uma solução de formol à 10 por cento e 2 dias depois retirados desta solução e armazenados em uma solução de 70% de álcool. Após a identificação, por especialistas, dos exemplares coletados, estes foram armazenados nas coleções dos laboratórios da Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro e de São José do Rio Preto.

Análise dos dados.

Variáveis geomorfológicas regionais.

Os dados geomorfológicos regionais foram trabalhados utilizando-se o sistema de informação geográfica (SIG) ArcGis 9.3 (ESRI), onde foi possível a organização e georreferenciamento dos dados coletados, bem como a produção e exportação de dados e informações para outros programas. Como produto final, foram geradas as variáveis geomorfológicas regionais: área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compactidade (CC), índice de circularidade (CI), densidade de drenagem (DD) e declividade do canal principal (CS) (Tabela 1). Os pontos de coleta de dados tiveram suas coordenadas medidas, em trabalho de campo, por aparelho de GPS.

Tabela 1- Pontos de amostragem da ictiofauna da serra da Mantiqueira oriental com suas coordenadas geográficas, zoneamento biogeográfico (BZ), área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compactidade (CC), índice de circularidade (CI), densidade de drenagem (DD) e declividade do canal principal (CS).

Pontos	Coordenadas	BZ	DA km ²	MD km	CC CI		DD km km ²	por	CS graus
					índices				
Pontos Piracuama									
PI1	22°48' 30,50"S 45°31'33,55"W	encosta	1,45	22,5	1,13	0,77	1,95		12,46
PI2	22°48' 50,08"S 45°32'22,03"W	encosta	10,34	20,92	1,23	0,65	3,12		13,98
PI3	22°50' 41,95"S 45°34'54,99"W	transição	25,44	16,6	1,36	0,54	3,01		5,6
PI5	22°50' 56,81"S 45°36'03,33"W	transição	20,43	19,89	1,68	0,35	2,73		5,26
PI6	22°52' 05,08"S 45°35'03,44"W	transição	38,93	16,54	1,68	0,35	2,78		4,63
PI4	22°49' 43,70"S 45°35'31,29"W	transição	86,8	13,38	1,47	0,46	2,82		4
Pontos Grande									
GR2	22°45' 01,79"S 45°27'55,61"W	encosta	2,91	31,93	1,35	0,54	3,21		20,81
GR3	22°46' 04,76"S 45°27'47,59"W	encosta	4,79	29,8	1,57	0,4	3,31		14,04
GR4	22°46' 04,64"S 45°27'50,48"W	transição	10,78	29,8	1,65	0,36	3,61		8,53
GR5	22°47' 07,29"S 45°28'07,00"W	encosta	7,8	28,02	1,49	0,44	3,03		10,31
GR6	22°48' 08,68"S 45°26'58,29"W	transição	77,81	24,52	1,4	0,5	2,83		5,54
GR7	22°49' 04,77"S 45°25'20,21"W	transição	85,13	18,1	1,46	0,46	2,77		3,89
Pontos Buenos									
BU1	22°46' 31,13"S 45°24'41,03"W	encosta	19,43	24,08	1,38	0,52	2,62		8,25
BU2	22°47' 35,21"S 45°22'36,13"W	transição	33,61	18,67	1,59	0,39	2,56		5,48
Pontos Guaratinguetá									
GU1	22°43' 28,02"S 45°20'36,33"W	encosta	13,15	34,09	1,16	0,73	3,24		11,64
GU2	22°44' 23,25"S 45°22'22,03"W	encosta	33,32	32,52	1,35	0,54	3,19		6,39

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

Para a produção dos dados geomorfológicos selecionados foram utilizadas 6 cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE (BRASIL, 1971a, 1971b, 1974a, 1974b, 1975, 1982), nas escalas de 1:50000, permitindo a inserção dos pontos de coleta da ictiofauna, delimitação da área drenada, perímetro das áreas drenadas e comprimento total dos canais a montante de cada um dos pontos inseridos. A delimitação das áreas drenadas permitiu que as mesmas fossem mensuradas e seus valores apresentados em tabelas de atributos geradas no programa ArcGis 9.3. Para a execução destas análises foram adotados os procedimentos descritos por Esri (2008); Silva e Rodrigues (2009) e Lourenço (2009).

Nos cálculos de declividade do canal principal foi verificado o número de curvas de nível que o canal cruzava em seu trajeto, da nascente até cada um dos pontos de coleta da ictiofauna. Deste modo, foi possível estabelecer o desnível vertical existente neste trajeto e calcular a declividade. Para a determinação do canal principal foram utilizados os procedimentos descritos por Christofolletti (1980).

A determinação da distância de cada ponto de coleta em relação às fozes das microbacias hidrográficas, no rio Paraíba do Sul, foi mensurada a partir da digitalização do trajeto percorrido pelos rios, dos pontos de coleta até as fozes.

O coeficiente de compacidade (CC), o índice de circularidade (CI) (COSTA, 2007) e a densidade de drenagem (DD) (CHRISTOFOLETTI, 1980) foram calculados a partir das seguintes equações:

$$CC = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$CI = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

$$DD = \frac{L_t}{A}$$

Onde:

P = Perímetro da microbacia (km);

A = área da microbacia (km²);

L_t = comprimento total dos canais (km).

O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar a correlação entre as variáveis geomorfológicas regionais selecionadas, considerando o nível de significância $\alpha = 0,05$. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizada para verificar a distribuição dos pontos amostrados em relação às variáveis geomorfológicas regionais medidas, utilizando o programa Past (HAMMER, HARPER e RYAN, 2001). Os dados foram transformados em $\log(x+1,1)$ para linearizar as relações, seguindo procedimentos semelhantes aos adotados por Legendre e Legendre (1998); Suárez e Petrere Júnior (2006) e Gonçalves e Braga (2012).

Variáveis biológicas.

As variáveis relativas à ictiofauna, como riqueza, abundância, diversidade de Shannon e equitabilidade, foram estimadas de acordo com Magurran (1988). Para avaliar a relação entre estas variáveis biológicas (variáveis respostas) e os dados geomorfológicos (variáveis explanatórias) foram realizadas análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva), com o programa Bioestat, versão 5.3, seguindo-se os mesmos procedimentos adotados por Suárez e Petrere Júnior (2006). Os dados foram transformados em $\log(x+1,1)$ para atender os pressupostos de linearidade e homogeneidade de variâncias.

A similaridade entre os pontos amostrais foi medida no programa R (pacote vegan) por meio de uma análise de escalonamento multidimensional não-métrico (non-metric multidimensional scaling), NMDS realizada a partir de uma matriz de presença e ausência de espécies da ictiofauna, considerando todos os pontos. Foi utilizado o índice de Jaccard e todas as dimensões foram reduzidas para apenas um eixo (JENNINGS et al., 2008). Os valores gerados pela análise NMDS também tiveram sua correlação com os dados geomorfológicos selecionados testada através de uma análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) que foi realizada no programa Bioestat. Deste modo, foi possível verificar se os dados geomorfológicos utilizados influenciam na similaridade da ictiofauna entre os pontos amostrados.

RESULTADOS

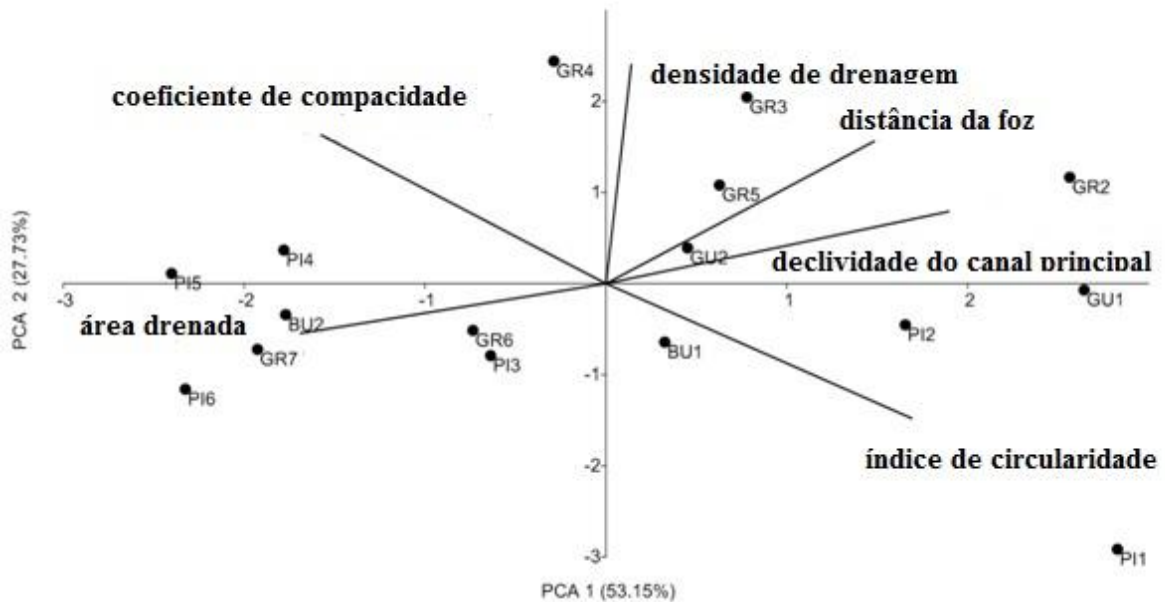
Algumas das variáveis geomorfológicas regionais estiveram fortemente correlacionadas entre si, tais como a declividade do canal com a área drenada, declividade do canal com distância da foz, área drenada com distância da foz e coeficiente de compacidade com coeficiente de circularidade (Tabela 2). A análise de componentes principais (PCA) ordenou os pontos amostrais em encosta e transição de acordo com suas características geomorfológicas regionais (Gráfico 1). Além disso, corroborou algumas das correlações encontradas entre as variáveis geomorfológicas regionais analisadas.

Tabela 2- Coeficiente de correlação de Pearson com nível de significância $\alpha = 0,05$ e grau de liberdade de $N - 2$ para as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal (CS), área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (CI) e densidade de drenagem (DD). Os valores em negrito são os que apresentaram correlação significativa.

	(CS)	(DA)	(MD)	(CC)	(CI)	(DD)
Declividade do canal principal (CS)	1	-0,89	0,69	- 0,47	0,48	0,22
área drenada (DA)		1	-0,55	0,34	- 0,38	0,01
distância da foz (MD)			1	- 0,27	0,27	0,46
coeficiente de compacidade (CC)				1	- 0,99	0,22
índice de circularidade (CI)					1	-0,25
densidade de drenagem (DD)						1

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

Gráfico 1- Gráfico gerado a partir da análise de componentes principais (PCA) considerando as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal, área drenada, distância da foz, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e densidade de drenagem em pontos localizados na serra da Mantiqueira oriental, nas microbacias do rio Piracuama (PI), ribeirão Grande (GR), ribeirão dos Buenos (BU) e rio Guaratinguetá (GU). As porcentagens de explicação dos eixos são mostradas entre parênteses.



Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

No total, foram coletadas 42 espécies divididas em 25 gêneros e 7 ordens (Tabela 3). A maior riqueza foi verificada no ponto GR6 onde foram coletadas 23 espécies; o ponto com a maior abundância foi o GR4 com 910 indivíduos coletados; a maior diversidade de Shannon foi verificada no GR5 e a maior equitabilidade no PI3. A espécie mais abundante nas microbacias foi *Trichomycterus itatiayae* com 2212 indivíduos, seguida por *Characidium lauroi* com 907 indivíduos. *Neoplecostomus microps* e *Trichomycterus itatiayae* ocorreram em 14 dentre os 16 pontos de coleta. As ordens com maior ocorrência foram Siluriformes (26 espécies) e Characiformes (10 espécies). Os menores valores de número de espécies e diversidade de Shannon foram verificados nos pontos PI1 e GR2. O ponto com a menor abundância de indivíduos foi o BU2 e a menor equitabilidade foi mensurada para o GU2 (Tabela 3).

Tabela 3- Riqueza de espécies (S), abundância (N), diversidade de Shannon (H'), equitabilidade (E) e valores da análise NMDS de todos os pontos amostrais utilizados, calculados a partir dos dados de Andrade (2004); Lourenço (2009); Rondineli (2010) e Carmassi (2012).

	N	BU1	BU2	GU1	GU2	GR2	GR3	GR4	GR5	GR6	GR7	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5	PI6
SILURIFORMES																	
<i>Trichomycterus itatiayae</i>	2212	255		407	482	53	126	248	45	11		162	186	26	56	97	58
<i>Neoplecostomus microps</i>	688	59		59	28	10	22	147	69	1		15	86	29	29	97	37
<i>Pareiorhina rudolphi</i>	363	1		31	5	124	64	30	40	3		40	2		2	21	
<i>Harttia carvalhoi</i>	209	13		20	37			12	13	16	2		14	7	30	31	14
<i>Imparfinis minutus</i>	91							2	23	28	38						
<i>Trichomycterus iheringi</i>	67	1	13		18			1	23	4	1			3	1	1	1
<i>Loricariichthys sp.</i>	65									6	59						
<i>Pareiorhina brachyrhyncha</i>	49	6		32	11												
<i>Trichomycterus immaculatus</i>	45					1		1	21							2	20
<i>Taunayia bifasciata</i>	43				2		14	27									
<i>Taunayia sp</i>	21												1		14	6	
<i>Trichomycterus alternatus</i>	19							13		1					5		
<i>Pareiorhina sp1</i>	19						14	1	2	2							
<i>Rhamdia quelen</i>	17								2				2	3		4	6
<i>Hypostomus luetkeni</i>	15													15			
<i>Rineloricaria kronei</i>	13		13														
<i>Rineloricaria steindachneri</i>	7									1	6						
<i>Trichomycterus sp.</i>	7							7									
<i>Hisonotus sp.</i>	5										5						
<i>Pareiorhina sp2</i>	5							3		2							
<i>Hoplosternun littorale</i>	3								1		2						
<i>Hypostomus sp1</i>	3									3							
<i>Pimelodella sp.</i>	3		3														
<i>Ancistrus stigmaticus</i>	2		2														
<i>Pseudotocinclus parahybae</i>	1		1														
<i>Pimelodus maculatus</i>	1										1						
CHARACIFORMES																	
<i>Characidium lauroi</i>	907	143		5	55		123	375	17	6			78	24	38	43	
<i>Characidium alipioi</i>	712	101	32	4	2			2	50	212	254			4		1	50
<i>Astyanax intermedius</i>	67			14	1								18	14	9	11	
<i>Astyanax scabripinnis</i>	62						8	40	14								
<i>Astyanax bimaculatus</i>	38		26								5	6		1			
<i>Astyanax fasciatus</i>	33		10						1	1							21
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	4		2						1	1							
<i>Hoplias malabaricus</i>	4									2	2						
<i>Characidium cf. pterostictium</i>	2																2
<i>Astyanax eigenmanniorum</i>	1										1						
GYMNOTIFORMES																	
<i>Gymnotus pantherinus</i>	21	3	4					1	11	2							
<i>Gymnotus carapo</i>	5		1							2	2						
PERCIFORMES																	

<i>Geophagus brasiliensis</i>	38								5	3	23						7
CYPRINODONTIFORMES																	
<i>Phalloceros caudimaculatus</i>	28	18		3					4			1	1	1			
SYNBRANCHIFORMES																	
<i>Synbranchus marmoratus</i>	5		2								2						1
SALMONIFORMES																	
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	1				1												
Total	5901	600	109	575	642	188	371	910	342	318	398	218	389	134	184	314	209
Species richness (S)		10	12	9	11	4	7	16	18	23	13	4	10	12	9	11	9
Shannon diversity (H')		1,52	1,95	1,11	0,99	0,82	1,53	1,60	2,40	1,49	1,25	0,74	1,37	2,09	1,79	1,72	1,81
Equitability (E)		0,66	0,79	0,50	0,41	0,59	0,79	0,58	0,83	0,47	0,49	0,53	0,60	0,84	0,82	0,72	0,83
NMDS valores		-0,11	1,69	-0,34	-0,22	-0,95	-0,76	0,05	0,29	0,64	1,29	-1,02	-0,42	0,18	-0,36	-0,18	0,23

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012. Fonte: Andrade, (2004); Lourenço, (2009); Rondineli, (2010); Carmassi, (2012).

Os resultados da análise regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) demonstraram que as variáveis geomorfológicas regionais utilizadas têm um relevante papel na estruturação das comunidades de peixes da região (Tabela 4).

A declividade do canal principal e a área drenada foram mais importantes para prever a riqueza de espécies, enquanto a distância em relação à foz foi mais importante para prever a abundância de indivíduos indicando que quanto mais distante da foz, maior será a abundância. A equitabilidade apresenta uma relação oposta, diminuindo nos trechos mais distantes da foz.

A riqueza, diversidade Shannon e equitabilidade diminuíram com o aumento da declividade do canal. O aumento da área drenada aumentou a riqueza de espécies, mas não interferiu na abundância, diversidade de Shannon e equitabilidade.

O índice de circularidade e coeficiente de compacidade foram importantes para prever a diversidade de Shannon e equitabilidade, indicando que as áreas drenadas mais circulares tendem a apresentar uma menor diversidade de Shannon e equitabilidade, enquanto que os pontos amostrais com um maior índice de compacidade apresentam maior diversidade de Shannon e equitabilidade.

A similaridade de espécies entre os pontos amostrais, que foi testada a partir dos valores da análise NMDS, demonstrou correlação com todas as variáveis geomorfológicas regionais utilizadas que explicam 74,61% do modelo (Tabela 4).

Tabela 4- Resultados das análises de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva) para as variáveis geomorfológicas regionais de declividade do canal principal (CS), área drenada (DA), distância da foz (MD), coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (CI), densidade de drenagem (DD) e as variáveis biológicas de número de espécies (S), abundância (N), diversidade Shannon (H'), equitabilidade (E) e similaridade da ictiofauna (IS).

	Variáveis Importantes	Valor de p	R ²
Número de espécies (S)	CS; DA	0,0346	40,21%
Abundância (N)	MD	0,0234	31,16%
Diversidade Shannon (H')	CS; CC; CI	0,0403	48,52%
Equitabilidade (E)	CS; MD; CC; CI	0,0205	62,36%
Similaridade da ictiofauna (IS)	CS; DA; MD; CC; CI; DD	0,0238	74,61%

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

A similaridade apresentada para os 16 pontos amostrados não tende a separar claramente os pontos de coleta de acordo com as microbacias a que pertencem, mas apresenta uma separação mais clara, de acordo com o setor biogeográfico a que pertencem (encosta e transição) (Figura 2).

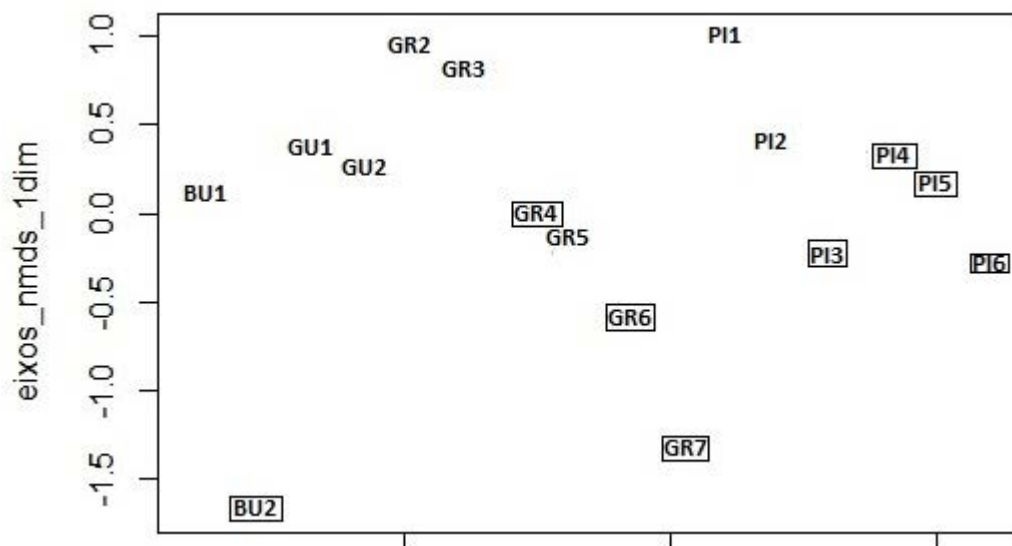


Figura 2- Similaridade entre os pontos amostrais das microbacias do Piracuama (PI), Grande (GR) Buenos (BU) e Guaratinguetá (GU) de acordo com a ictiofauna local. Pontos contornados com retângulo referem-se aos de transição; os demais, aos de encosta.

Elaboração: Jeferson M. R. M. F. Lourenço, 2012.

DISCUSSÃO

As 5 espécies mais abundantes nas 4 microbacias, *Trichomycterus itatiayae*, *Characidium lauroi*, *Characidium alipioi*, *Neoplecostomus microps* e *Pareiorhina rudolphi* estão bem adaptadas aos ambientes torrentosos de riachos. Elas apresentam adaptações no corpo que lhes possibilitam permanecer nos fundos rochosos, rasos e rápidos, e desenvolvem estratégias do tipo K, que reduzem e adequam o produto da desova (ovos e larvas) para manter estas populações em equilíbrio (BRAGA, 2004; BRAGA, 2006; BRAGA, GOMIERO e SOUZA, 2008; BRAGA, GOMIERO e SOUZA, 2009).

Estas espécies são insetívoras, alimentando-se, principalmente, de larvas e ninfas de insetos aquáticos e, em menor intensidade, de perifiton (BRAGA, 2005b; BRAGA, GOMIERO e SOUZA, 2008; BRAGA e GOMIERO, 2009). Riachos de montanha são caracteristicamente oligotróficos e comportam populações de peixes com abundância moderada. A base da alimentação para elas vem de larvas e ninfas aquáticas de insetos que apresentam uma intrincada rede trófica que, por sua vez, irão servir de alimentos para muitas espécies de peixes, compondo uma importante fonte de alimento autóctone (BRAGA, 2005b). As categorias de macroinvertebrados estão intimamente ligadas a uma cadeia trófica que incluem detritívoros, pastatores, coletores, filtradores e predadores que dependem da fonte de nutrientes alóctones vinda da vegetação e solos circundantes; portanto, estabelece-se uma cadeia trófica composta por fonte alimentar de origem alóctone, que servirá de alimento para a intrincada rede trófica, composta por macroinvertebrados autóctones, que servirão de alimento para os peixes (BRAGA, 2005b; BRAGA, GOMIERO e SOUZA, 2008; BRAGA e GOMIERO, 2009; BRAGA, GOMIERO e SOUZA, 2009). Estas afirmações mencionadas pelas pesquisas citadas acima são corroboradas pelos dados geoquímicos das águas fluviais, demonstrados no primeiro capítulo desta pesquisa que comprovam, através de dados quantitativos, que estes riachos são ambientes de águas oligotróficas, especialmente durante o período menos chuvoso do ano.

A maior riqueza de espécies observada em alguns pontos da microbacia do ribeirão Grande pode estar relacionada à menor interferência antrópica verificada para esta microbacia, especialmente em seu médio e alto cursos; o mesmo pode ser dito da microbacia do Piracuama, no que se refere à diversidade Shannon de espécies. Pinto et al. (2009) ressaltaram a influência das interferências antrópicas na estruturação das comunidades de peixes do rio Paraíba do Sul, afirmando que estas interferências tendem a ser menores nas

áreas com maiores declividades, situadas na encosta da Mantiqueira, devido às dificuldades de acesso e de uso econômico destes locais.

Rios de climas tropicais normalmente apresentam um maior número de espécies do que os de climas temperados e frios, assim como, aumento da área drenada das microbacias, tende a ser acompanhado por aumento no número de espécies (ALLAN e FLECKER, 1993). Na serra da Mantiqueira oriental, os riachos de encosta têm um menor número de espécies, diversidade Shannon e equitabilidade do que na transição; no entanto, a abundância é maior na encosta em relação a transição onde há maiores interferências antrópicas do que na encosta; este resultado corrobora com o que foi verificado por Lima Junior et al. (2006) para o rio Corumbataí (Brasil).

Nos riachos da serra da Mantiqueira oriental há indícios de que, além dos parâmetros geomorfológicos regionais mensurados e variáveis ambientais e biológicas locais, o parcial isolamento biogeográfico, espaço físico limitado, menor variabilidade e maior instabilidade ambiental da encosta são fatores que devem afetar a riqueza, a diversidade Shannon de espécies e a equitabilidade; parte destas afirmações já foram testadas e comprovadas por outras pesquisas desenvolvidas na área nos últimos 10 anos.

Os pontos amostrados na encosta possuem ictiofauna altamente especializada e de menor tamanho; no entanto, a abundância de indivíduos é maior, sugerindo que as populações precisam manter uma maior densidade demográfica para garantir maior variabilidade genética e conseqüentemente a sobrevivência destas comunidades a longo prazo. Por outro lado, as populações presentes na transição encontram-se menos isoladas e podem receber migrações de indivíduos situados tanto a jusante como a montante, o que contribui para apresentarem um maior número de espécies, equitabilidade e diversidade Shannon.

Braga (2004) sugeriu que a ictiofauna da microbacia do ribeirão Grande apresenta caracteres morfológicos, tais como, redução do tamanho corpóreo e amoldamentos na forma corporal que refletem adaptações aos ambientes em que vivem. Winemiller e Rose (1992) afirmaram que a ictiofauna de alguns ambientes que apresentam poucos recursos pode sofrer adaptações evolutivas tais como: pequeno porte, cuidado parental e pequena desova. Lemes e Garutti (2002), ao estudarem a ictiofauna de ambientes de cabeceiras do alto rio Paraná, concluíram que o pequeno porte dos indivíduos coletados, provavelmente, está ligado ao reduzido tamanho destes ambientes.

A equitabilidade apresentou-se elevada predominantemente nos ambientes situados à jusante, provavelmente devido à maior estabilidade destes ambientes, uma vez que, são locais com menores variações de vazão sazonais e durante as precipitações.

Jennings et al. (2008) ressaltam a importância da utilização de índices de similaridade, como por exemplo, a análise NMDS, para complementar medidas de riqueza e endemismo na definição de áreas prioritárias para a conservação.

Os resultados da análise de regressão linear múltipla passo a passo (regressiva), realizada a partir dos valores da análise NMDS, indicam que todas as variáveis geomorfológicas regionais utilizadas correlacionam-se com presença e ausência de espécies e similaridade da ictiofauna entre os pontos de coleta, demonstrando que as variáveis geomorfológicas regionais são importantes para a estruturação da ictiofauna da região.

De acordo com Gerhard, Moraes e Molander (2004) descontinuidades naturais nos sistemas fluviais, tais como cachoeiras que promovem um parcial isolamento biogeográfico das populações situadas a montante, podem ter influência na estruturação das comunidades ictias. No entanto, os resultados da análise NMDS demonstraram que na serra da Mantiqueira oriental, apesar de algumas pequenas diferenças na composição das espécies presentes nos pontos de cabeceira terem sido verificadas, os pontos de coleta da ictiofauna tendem a se agrupar de acordo com o setor biogeográfico a que pertencem (encosta e transição) e não de acordo com a microbacia de que fazem parte.

Os resultados verificados nesta pesquisa corroboram com o conceito de Rio Contínuo descrito por Vannote et al. (1980), onde as comunidades bióticas dos corpos hídricos tendem a buscar um equilíbrio com as características físicas existentes na área, ocorrendo, deste modo, um contínuo processo de adição e substituição de espécies.

Teixeira et al. (2005), ao estudarem a bacia do rio Paraíba do Sul, verificaram uma tendência de aumento da riqueza no sentido montante para jusante o que está de acordo com o conceito de Rio Contínuo. Entretanto, para estes autores as características ambientais locais não coincidem com mudanças nas assembleias de peixes, sendo as ações antrópicas o fator mais importante na estruturação atual das comunidades de peixes desta bacia. Pinto; Peixoto e Araújo (2006) verificaram resultados semelhantes na mesma bacia; no entanto, ressaltam que, após sofrer severos impactos ambientais ao passar por uma área altamente industrializada, o rio Paraíba do Sul passou a apresentar melhores condições ambientais nos trechos a jusante, demonstrando a capacidade de recuperação de seus sistemas ambientais.

Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que todas as variáveis geomorfológicas regionais utilizadas são importantes para a estruturação das comunidades de peixes da região, mas a declividade do canal principal parece ser a variável geomorfológica mais importante utilizada, uma vez que, com exceção da abundância, ela apresentou correlação com todas as outras variáveis biológicas testadas. A riqueza e abundância de espécies demonstraram ser

valores biológicos muito importantes e bastante sensíveis para detectar variações em comunidades de peixes, uma vez que, variaram acentuadamente entre a encosta e transição.

Nesta pesquisa, o uso do sistema de informação geográfica (SIG) se mostrou uma importante ferramenta para a geração e manipulação dos dados ambientais utilizados, pois este sistema permite a geração de dados que se tornam cada vez mais precisos e de baixo custo. O desenvolvimento de programas de computador com ferramentas de uso mais simplificado, assim como, o surgimento de programas gratuitos estão permitindo a abertura de um novo campo de pesquisa no estudo da ictiofauna dos rios. Neste contexto, Cabello et al. (2012) ressaltam que o sensoriamento remoto pode ser utilizado como uma nova ferramenta em estudos de ecologia, podendo subsidiar a identificação de problemas antes escondidos. Nemeč e Hearne (2012) ressaltam que o SIG pode ajudar os gestores de terras e conservacionistas a visualizarem padrões espaciais e temporais de mudanças nos serviços ecossistêmicos e estimar o impacto potencial de mudanças projetadas do uso da terra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que todas as variáveis geomorfológicas regionais empregadas são importantes para a estruturação da ictiofauna regional, porém a declividade do canal principal parece ser a variável geomorfológica mais importante utilizada, uma vez que, com exceção da abundância, ela apresentou correlação com todas as outras variáveis biológicas utilizadas.

Estes resultados também demonstram a importância da utilização de ferramentas de SIGs no estudo da ictiofauna, no entanto, é importante ressaltar que estas variáveis geomorfológicas regionais utilizadas nesta pesquisa, para avaliar sua correlação com a ictiofauna, representam apenas uma parte das variáveis ambientais que interferem na estruturação das comunidades de peixes de ambientes lóticos, uma vez que, inúmeras outras pesquisas já desenvolvidas na área demonstraram que existem diversos outros fatores locais que interferem nos ecossistemas destes riachos, especialmente na ictiofauna, como as pesquisas de Braga (2004); Andrade (2004); Braga e Andrade (2005); Braga (2005a); Braga (2005b); Braga (2006); Ingenito e Buckup (2007); Braga, Gomiero e Souza (2008); Braga e Gomiero (2009); Braga, Gomiero e Souza (2009); Lourenço (2009); Rondineli (2010); Moraes e Braga (2011); Carmassi (2012).

A riqueza e abundância de espécies demonstraram ser valores biológicos muito importantes e bastante sensíveis para detectar variações em comunidades de peixes, uma vez que, variaram acentuadamente entre a encosta e transição. A abundância foi a única variável biológica que apresentou maiores valores na encosta do que na transição.

Os resultados obtidos nesta pesquisa também confirmam, através de dados quantitativos, as colocações feitas por Braga (2005b) a respeito da oligotrofia das águas das microbacias estudadas.

REFERÊNCIAS

ALLAN, D. J.; FLECKER, A. S. Biodiversity Conservation in Running Waters: Identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems. BioScience, v. 43, n.1, p. 32-43, 1993.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Instituto Geológico e Geográfico. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo: IGG, v. 41, 1964, p. 167-262.

ANDRADE, P. de M. **Distribuição, dieta e ecomorfologia das espécies de peixes no sistema do Ribeirão Grande, no município de Pindamonhangaba, SP.** 2004. 152f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

ARAÚJO, F. G. FICHBERG, I; PINTO, B. C. T; PEIXOTO, M. G. Variações espaciais na assembléia de peixes no Rio Paraíba do Sul (Barra Mansa, Barra do Piraí), Rio de Janeiro, Brasil. Revista brasileira de Zoologia, v.18, n.2, p. 483 - 492, 2001.

BIZERRIL, C. R. S. F. Análise taxonômica e biogeográfica da ictiofauna de água doce dos leste brasileiro. Acta Biológica Leopoldensia. Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 51-80, 1994.

BIZERRIL, C. R. S. F. Análise da distribuição espacial da ictiofauna de uma bacia hidrográfica do leste brasileiro. Arq. Biol. Tecnol., Rio de Janeiro, v. 38, p. 477- 499, 1995.

BIZERRIL, C. R. S. F. The relationship between fluvial morphology and biodiversity and its application in the process of environmental evaluation. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, n.1, v.41, p. 67-81, mar. 1998.

BRAGA, F. M. S. Habitat, distribuição e aspectos adaptativos de peixes da microbacia do Ribeirão Grande, Estado de São Paulo, Brasil. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringá, v. 26, n. 1, p. 31-36, 2004.

BRAGA, F. M. S. Spatial distribution of characidiin fishes (Teleostei, Crenuchidae) in the Ribeirão Grande system, a tributary of Paraíba do Sul river basin, Brazil. Acta Scientiarum (UEM), Maringá, v. 27, n.3, p. 259-263, 2005a.

BRAGA, F. M. S. Feeding and condition factor of characidiin fishes in Ribeirão Grande system, southeastern Brazil. Acta Scientiarum (UEM), Maringá, v. 27, n.3, p. 271-276, 2005b.

BRAGA, F. M. S.; ANDRADE, P. M. Distribuição de peixes na microbacia do Ribeirão Grande, Serra da Mantiqueira Oriental. Revista Iheringia, Porto Alegre, v. 95, n. 2, p. 121 – 126, 30 jun 2005.

BRAGA, F. M. S. Aspectos da reprodução no gênero *Characidium reinhardt*, 1867 (Crenuchidae, Characidae), na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira, sudeste do Brasil. Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 28, p. 365-371, 2006.

BRAGA, F. M. S.; GOMIERO, L. M. ; SOUZA, U. P.; Aspectos da reprodução e alimentação de *Neoplecostomus microps* (Loricariidae, Neoplecostominae) na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira oriental (Estado de São Paulo). Acta Scientiarum (UEM), v. 30, p. 455-463, 2008.

BRAGA, F. M. S.; GOMIERO, L. M; SOUZA, U. P. Biologia populacional de *Pareiorhina rudolphi* (Loricariidae, Hypostominae) na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira oriental, Estado de São Paulo. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringa, v. 31, n. 1, p. 79-88, 2009.

BRAGA, F. M. S.; GOMIERO, L. M. Alimentação de peixes na microbacia do Ribeirão Grande, Serra da Mantiqueira oriental, SP. Biota Neotropica (Edição em português. Impresso), v. 9, p. 207-212, 2009.

BRASIL (a). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Delfim Moreira. Folha SF-23-Y-B-VI-1. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____ (b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Campos do Jordão. Folha SF-23-Y-B-V-2. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____ (a). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Pindamonhangaba. Folha SF-23-Y-B-VI-3. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____ (b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil: Tremembé**. Folha SF-23-Y-B-V-4. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Lorena. Folha SF-23-Y-B-VI-2. Rio de Janeiro, 1975. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica Região Sudeste do Brasil**: Guaratinguetá. Folha SF-23-Y-B-VI-4-MI-2741-4. Rio de Janeiro, 1982. 1 mapa, color. Escala 1:50000.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Geográfico**. 3o ed. Rio de Janeiro, 1986. 114 p.

CABELLO, J.; FERNÁNDEZ, N.; SEGURA, D. A.; OYONARTE C.; PIÑEIRO G.; ALTESOR, A.; DELIBES, M.; PARUELO, J. M. The ecosystem functioning dimension in conservation: insights from remote sensing. Biodivers Conserv., v. 21, p. 3287–3305, September 2012.

CAMARGO, A. F. M; FERREIRA, R. A. R; SCHIAVETTI, A; BINI, L. M. Influence of physiography and human activity on limnological characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, [S.l.], v.8, p.231-243, 1996.

CAMARGO, A. F. M.; NUCCI, P. R.; BINI, L. M.; SILVA Jr, U. L. The influence of the geology on the limnological characteristics of some lotic ecosystems of the Itanhaém river basin, SP – Brazil. Verh. Internat. Verein. Limnol., Stuttgart, v. 26, p. 860-864, 1997.

CARMASSI, A. L. **Estrutura das comunidades e biologia populacional da ictiofauna de riachos da microbacia do rio Piracuama na Serra de Mantiqueira Oriental.** 2012. 86f. Tese (Doutorado em Biologia, área de concentração: Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2 ed, São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1980. 177p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1981. 313p.

COSTA, T. C. Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13; 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p.2493-2500.

ESRI. ArcMap Tutorial. New York, 2008. Disponível em: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/pdf/ArcMap_Tutorial.pdf. Acesso em 21 jun. 2011.

GERHARD, P.; MORAES, R. & MOLANDER, S. Stream fish communities and their associations to habitat variables in a rain forest reserve in southeastern Brazil. Environmental Biology of Fishes, Netherlands v.71, p. 321-340, 2004. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/n03408623r7j0113/> Acesso em 25 jul. 2012.

GONÇALVES, C. da S; BRAGA F. M. de S. Changes in ichthyofauna composition along a gradient from clearwaters to blackwaters in coastal streams of Atlantic forest (southeastern Brazil) in relation to environmental variables. Neotropical Ichthyology, v.10, n.3, p. 675-684, 2012.

GOMIERO, L. M; BRAGA, F. M. S. Diversity of the ichthyofauna in the Serra do Mar State Park- Núcleo Santa Virgínia, São Paulo State, Brazil. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringa, v. 28, n. 3, p. 213-218, July/Sept., 2006.

HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, p. 4-9, 2001.

INGENITO, L.F.S; BUCKUP, P. A. The Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil, as a biogeographical barrier for fishes. Journal of Biogeography, v.34, p. 1173-1182, 2007.

JENNINGS, M. D.; HOEKSTRA J.; HIGGINS J.; BOUCHER, T. A comparative measure of biodiversity based on species composition. Biodivers Conserv., v.17, p.833-840, January 2008.

LAMOREUX, J. F.; MORRISON, J. C.; RICKETTS, T. H; OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E.; MCKNIGHT, M. W.; SHUGART, H. H. Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism. **Nature**, v. 440, p. 212-214, March 2006.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Numerical ecology. Amsterdam, ed. Elsevier, 1998, 853p.

LEMES, E.M.; GARUTTI, V. Ictiofauna de poção e rápido em um córrego de cabeceira da bacia do Alto rio Paraná. Comun. Mus. Ciênc. Tecnol., Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 175-199, 2002.

LIMA Jr., S. E. **A ictiofauna e a qualidade da água em trechos do Rio Corumbataí - SP.** 2004. 232f. Tese (Doutorado em Biologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

LIMA Jr., S. E. ; CARDONE, I. B. ; GOITEIN, R. . Fish assemblage structure and aquatic pollution in a Brazilian stream: some limitations of diversity indices for environmental impact studies. Ecology of Freshwater Fish, v. 15, n. 3, p. 284-290, 2006.

LOURENÇO, J. M. R. M. F. **Caracterização geográfica e análise da distribuição horizontal da ictiofauna da microbacia do ribeirão dos Buenos ou Moreiras (Serra da Mantiqueira Oriental).** 2009. 191f. Dissertação (Mestrado em Geografia, área de concentração: Organização do Espaço). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

LOURENÇO, J. M. R. M. F.; CONCEIÇÃO, F. T.; BRAGA, F. M. S. A ictiofauna de quatro microbacias hidrográficas neotropicais e sua correlação com a geomorfologia e uso do solo. In: Convención Internacional sobre médio ambiente y desarrollo, 9. **Congreso sobre manejo de ecosistemas y biodiversidade**, 4. Havana. 2013. p.736-759.

MAGURRAN, A. E. Ecological Diversity and its Measurement, Princeton New Jersey US ed. Princeton University Press, 1988. 179p.

MAZZONI, R.; CERVIÁ, J. L. Longitudinal structure, density and production rates of a neotropical stream fish assemblage: the river Ubatiba in the Serra do Mar, southeast Brazil. Ecography, Copenhagen, n.23, p.588 – 602, 2000.

MAZZONI, R.; IGLESIAS-RIOS, R. Distribution pattern of two fish species in a coastal stream in southeast Brazil. Braz. J. Biol., Rio de Janeiro, n. 62, p. 171-178, 2002.

MONTAG, L. F. A.; BARRELA, W. S; PETRERE Jr, M. As influências e as relações das matas ciliares nas comunidades de peixes do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ecologia, Rio Claro, n.1, p. 76-80, 1997.

MORAES, M. B.; BRAGA, F. M. S. Biologia populacional de *Imparfinis minutus* (Siluriformes, Heptapteridae) na microbacia do Ribeirão Grande, serra da Mantiqueira oriental, estado de São Paulo. Acta Scientiarum. Biological Sciences (Impresso), v. 33, p. 301-310, 2011.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER C. G.; FONSECA, G. A. B. da; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, v. 403, p. 853-858, 2000.

NEMEC, K. T.; HEARNE, C. R. The use of geographic information systems to map and assess ecosystem services. Biodivers Conserv., v. 22, p. 1–15, November 2012.

PERES NETO, P. R.; BIZERRIL, C. R. S. F.; IGLESIAS, R. An overview of some aspects of river ecology: A case study on fish assemblages distribution in an Eastern Brazilian coastal river. Oecologia Brasiliensis, v. 1, p. 317-334. 1995.

PETESSE, M. L. **Caracterização da ictiofauna da represa de Barra Bonita (SP) e adaptação do índice de Integridade Biótica (IIB)**. 2006. 257f. Tese (Doutorado em Biologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PINTO, B. C. T.; PEIXOTO, M. G.; ARAUJO, F. G. Effects of the proximity from an industrial plant on fish assemblages in the rio Paraíba do Sul, southeastern Brazil. Neotropical Ichthyology, v. 4, n.2, p. 269-278, 2006.

PINTO, B. C. T.; ARAUJO, F. G.; RODRIGUES, V. D.; HUGHE R. M. Local and ecoregion effects on fish assemblage structure in tributaries of the Rio Paraíba do Sul, Brazil. Freshwater Biology, v. 54, p. 2600–2615, 2009.

RIBEIRO, A. C. Tectonic history and the biogeography of the freshwater fishes from the coastal drainages of eastern Brazil: an example of faunal evolution associated with a divergent continental margin. Neotrop. Ichthyol. [cidade não disponível], v.4, n.2, p 225-256, 2006.

RONDINELLI, G. R.; **Ictiofauna de duas microbacias – ribeirão dos Buenos e rio Guaratinguetá – na Serra da Mantiqueira Oriental**. 2010. 163f. Tese (Doutorado em Biologia, área de concentração: Zoologia) Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

SABINO, J; CASTRO, R. M. C. e. Alimentação, período de atividade e distribuição espacial dos peixes de um riacho da Floresta Atlântica (Sudeste do Brasil). Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, n. 50, p. 23-36, 1990.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de obras e do Meio Ambiente; Departamento de Águas e Energia Elétrica. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas campus de Rio Claro. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**: Folha Guaratinguetá SF-23-Y-B. São Paulo, 1984. 1 mapa, color. Escala 1:250000.

SILVA, I. T.; RODRIGUES, S. C. Tutorial de cartografia geomorfológica: ARCGIS 9.2 e ENVI 4.0. Revista Geográfica Acadêmica. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://www.rga.ggf.br/tutorialgeo.pdf>. Acesso em 04 mai 2011.

SMITH, W. S; BARRELLA, W; CETRA, M. Comunidade de peixes como indicadora de poluição ambiental. Revista Brasileira de Ecologia, Rio Claro, n.1, p. 67-71, 1997.

SPATTI JUNIOR, E. P. ; CONCEICAO, F. T. ; GUEDES JUNIOR, E. ; PINTO, S. A. F. ; PEREIRA, L. H. . Balanço entre erosão química e mecânica na bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinadas por geoquímica fluvial. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 15, n.1, p. 137-152, 2014.

SÚAREZ, Y. R. **Estrutura das comunidades de peixes na bacia do Rio Iguatemi - MS**. 2004. 96f. Tese (Doutorado em Biologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

SÚAREZ, Y. R.; PETRERE JÚNIOR, M. Gradientes de diversidade nas comunidades de peixes da bacia do rio Iguatemi, Mato Grosso do Sul, Brasil. Iheringia, Porto Alegre, v.96, n.2, p.197-204, 2006.

TEIXEIRA, T. P.; PINTO, B. C. T.; TERRA, B. de F.; ESTILIANO, E. O.; GRACIA, D.; ARAÚJO, F. G. Diversidade das assembléias de peixes nas quatro unidades geográficas do rio Paraíba do Sul. Iheringia, Sér. Zool., Porto Alegre, v. 95, n.4, p. 347-357, 2005.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 37, n.1, p. 130-137, 1980.

VIADANA, A. G. **Análise da qualidade hídrica do alto e médio Corumbataí (SP) pela aplicação de bio-indicadores.** 1985. 115f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1985.

WINEMILLER, K. O.; ROSE, K. A. Patterns of lifehistory diversification in North American fishes: implications for population regulation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 49, n. 10, p. 2196-2218, 1992.