

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MORFOMETRIA DE COMPARTIMENTOS
HIDROLÓGICOS E QUALIDADE HÍDRICA DO MUNICÍPIO
DE BATATAIS-SP**

Marcelo Zanata
Engenheiro Agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MORFOMETRIA DE COMPARTIMENTOS
HIDROLÓGICOS E QUALIDADE HÍDRICA DO MUNICÍPIO
DE BATATAIS-SP**

Marcelo Zanata

Orientador: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2013

Zanata, Marcelo
Z27m Morfometria de compartimentos hidrológicos e qualidade hídrica
do município de Batatais-SP / Marcelo Zanata. – – Jaboticabal, 2013
viii, 103p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Banca examinadora: Rogério Teixeira de Faria, Sergio Campos,
Elen Fittipaldi Brasilio Carrega, Valdir de Cicco
Bibliografia

1. SWAT-SIG. 2. *Pinus*-cana-de-açúcar. 3. Escoamento-
superficial-sazonalidade. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 556.1:556.51

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MORFOMETRIA DE COMPARTIMENTOS HIDROLÓGICOS E QUALIDADE HÍDRICA DO MUNICÍPIO DE BATATAIS-SP

AUTOR: MARCELO ZANATA

ORIENTADORA: Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ROGERIO TEIXEIRA DE FARIA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. SERGIO CAMPOS

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Botucatu

Profa. Dra. ELEN FITTIPALDI BRASILIO CARREGA

Faculdades Integradas de Botucatu / Botucatu/SP

Prof. Dr. VALDIR DE CICCO

Instituto Florestal do Estado de São Paulo / São Paulo/SP

Data da realização: 22 de outubro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCELO ZANATA, nascido aos 30 de maio de 1968 em Americana, estado de São Paulo, é Engenheiro Agrônomo formado pela Escola Superior de Agricultura de Lavras (1993), com especialização (*Latu sensu*) na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) em Administração e Manejo de Unidades de Conservação (1995) e Mestrado (*Strictu sensu*) em Produção Vegetal pela UNESP – Campus de Jaboticabal (2009). Pesquisador Científico do Instituto Florestal (IF) do Estado de São Paulo, atualmente é Diretor da Divisão de Florestas e Estações Experimentais (DFEE), onde trabalha com pesquisa científica e manejo de florestas exóticas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, da conservação de recursos genéticos florestais de espécies nativas e exóticas, de adequação ambiental e legal de unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral, de recuperação de áreas degradadas e de microbacia hidrográfica.

"A vida é uma peça de teatro em que os atores não têm a oportunidade de ensaiar a cena ou repeti-la".

À Maria Cardinas, Oswaldo Zanata e Roberto Aparecido.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Florestal e à UNESP pela oportunidade concedida;

Profa Dra Teresa Cristina Tarlé Pissarra pela simplicidade no ser, amplitude do saber e elegância no dizer;

Dr. Hilton Maurício de Araújo Filho, Promotor do Meio Ambiente da Comarca de Batatais, pela idealização e concretização do Atlas Ambiental “Informações Básicas para o Planejamento Ambiental - Município de Batatais”;

Conselho Municipal de Desenvolvimento do Meio Ambiente (COMDEMA) de Batatais, pela tiragem de 100 exemplares do livro “Informações Básicas para o Planejamento Ambiental – Município de Batatais”;

Dr. Rafael Costa Freiria, Secretário Municipal do Meio Ambiente de Batatais (2009 a 2012), pela singularidade, eficiência e pioneirismo a frente das questões ambientais do município;

Prof. Dr. Antonio Sergio Ferraudo pelo conhecimento estatístico;

Ronaldo, do Laboratório de Fotointerpretação, pelo companheirismo e conhecimento técnico;

Proprietários das áreas de coleta de água: Instituto Florestal, Roberto Nazar, Paulo Roberto Fugazolla Marques;

Professor Lourival da Escola Fashion English de Batatais pelos conhecimentos da língua inglesa;

Professores Roberto Teles (Filosofia), Carraro e Toshiraro (Física), Turcão (Matemática), Lafaiete (História), professores do colegial e cursinho pelos valiosos conhecimentos adquiridos durante a formação secundária;

À Dona Nirce, professora do primeiro ano primário;

A todos que por algum motivo influenciaram ou colaboraram com o resultado final deste trabalho;

À Verinha e Kauê cúmplices desse objetivo.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 Morfometria	03
2.2 Recurso Hídrico	06
2.3 Análise multivariada	09
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Caracterização da Área de Estudo	12
3.2 Morfometria	15
3.3 Recurso Hídrico	26
3.4 Análise Multivariada	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Morfometria	30
4.2 Recurso Hídrico	39
4.3 Análise Multivariada	66
5 CONCLUSÕES	70
6 REFERÊNCIAS	71
APÊNDICES	80

MORFOMETRIA DE COMPARTIMENTOS HIDROLÓGICOS E QUALIDADE HÍDRICA DO MUNICÍPIO DE BATATAIS-SP

RESUMO – Os objetivos deste trabalho foram os de comparar características morfométricas de compartimentos hidrológicos do município de Batatais nos resultados obtidos de variáveis dimensionais e do relevo a partir da vetorização realizada no sistema de informação geográfica (SIG) e no programa de modelagem SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), monitorar as características físico-químicas das águas superficiais de algumas nascentes, no intuito de verificar a alteração ambiental em relação ao uso/ocupação do solo dessas microbacias, e correlacionar essas alterações ambientais na análise exploratória multivariada. Os resultados mostram que o SWAT utiliza o modelo digital de elevação, fato que o torna mais apropriado para indicar o maior comprimento do fundo do vale, denominado de *Longest path*, que o maior comprimento em linha reta entre o deflúvio e a maior cota obtida pelo SIG. Assim, o modelo SWAT não pode ser utilizado para a análise morfométrica completa dos compartimentos hidrológicos, pois não obtém dados suficientes para os cálculos de variáveis dimensionais e do relevo. A análise morfométrica dos compartimentos hidrológicos do município de Batatais indica que essas bacias são menos susceptíveis à degradação ambiental por ser mais alongada que circular em relevo suave ondulado. As medidas de temperatura (T°C), pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT) foram obtidas a partir das águas das nascentes e analisadas através da estatística multivariada. Os dados de monitoramento do recurso hídrico mostram estreita relação entre as variáveis SDT e CE, com maior evidência em relação ao ambiente da microbacia B8, nos meses de dezembro de 2009 e abril de 2011, quando registrou-se o uso de herbicida para controle da braquiária ao redor de sua nascente principal. A alta pluviosidade e os resíduos da atividade agrícola (queima, correção e fertilização) provocaram alterações no recurso hídrico da microbacia B8 com lavoura de cana de açúcar. A análise multivariada mostra que a proporção da variância total retida nos dois primeiros fatores foi de 80,55% (F1 = 55,20%; F2 = 25,35%). O fator F1 mostrou correlação positiva entre as variáveis SDT e CE evidenciando o processo de escoamento superficial da água da chuva, de uma das microbacias ocupadas com lavoura de cana de açúcar (B8). O fator F2 mostrou correlação negativa para a variável T°C em relação ao pH, mostrando o efeito da sazonalidade dos dados em microbacias ocupadas com o reflorestamento do gênero *Pinus* (B11) e na testemunha (B14).

Palavras-chave: cana de açúcar, escoamento superficial, *Pinus*, sazonalidade, SIG, SWAT

HYDROLOGICAL COMPARTMENTS MORPHOMETRY AND HYDRO QUALITY OF THE BATATAIS MUNICIPALITY-SP

ABSTRACT - The objectives of this study were to compare the morphometric characteristics of hydrological compartments of the municipality of Batatais at the results of the dimensional and the relief variables in a geographic information system (GIS) vectorization and in the SWAT (Soil and Water Assessment Tool), to analyze the physical and chemical characteristics of surface waters of some springs, in order to verify the environmental change in the landuse/landcover of these watersheds and to correlate these environmental changes in an exploratory multivariate analysis. The results showed that SWAT uses the digital elevation model to obtain some physical characteristics, which is appropriated to indicate the greater length of the valley, called *Longest path*, the longest straight between the runoff and the largest altitude obtained by the GIS. Thus, the SWAT model cannot be used for a complete morphometric analysis on hydrological compartments because it does not obtain sufficient information for calculation of the dimensional and relief variables. The morphometric analysis of hydrological compartments of the municipality of Batatais indicates that these basins are less susceptible to environmental degradation by being more elongated than circular. Measures of the temperature (T°C), pH, electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) were obtained from the spring waters and analyzed by multivariate statistics. Monitoring data of water resources showed a close relationship between the EC and TDS variables, mostly related to the environment of the B8 watershed, at December, 2009 and April, 2011, when it was recorded the use of herbicide to control brachiaria around its spring. The high rainfall and waste of agricultural activity (burning, correction and fertilization) caused changes in water resources of the B8 watershed, that is surrounded by sugarcane. Multivariate analysis showed that the proportion of the total variance retained in the first two factors was 80.55% (F1=55.20%; F2=25.35%). The factor F1 showed a positive correlation between the variables EC and TDS showing the process of runoff of rainwater from a catchment occupied with farming of sugarcane (B8). The factor F2 showed a negative correlation with the variable T°C related to pH, showing the effect of seasonality data in watersheds occupied with the reforestation of *Pinus* (B11) and control (B14).

Keywords: sugarcane, runoff, *Pinus*, seasonality, GIS, SWAT

LISTA DE TABELAS

1	Características dimensionais, da rede de drenagem e do relevo, fórmulas e fontes das variáveis em estudo no município de Batatais, SP.	04
2	Compartimentos Hidrológicos do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	23
3	Características dimensionais da rede de drenagem do município de Batatais obtidas no SIG. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	24
4	Características morfométricas da rede de drenagem do município de Batatais obtidas no SIG. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	30
5	Comparação entre resultados de dados morfométricos obtidos no modelo SWAT e SIG para áreas da rede de drenagem do município de Batatais.	32
6	Temperaturas mensais dos anos 2009/2010 de microbacias no município de Batatais, SP.	41
7	Ph mensal dos anos 2009/2010 de microbacias no município de Batatais, SP.	43
8	Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2009/2010 de microbacias no município de Batatais, SP.	45
9	Condutividade elétrica mensal dos anos 2009/2010 de microbacias no município de Batatais, SP.	47
10	Temperaturas mensais dos anos 2010/2011 de microbacias no município de Batatais, SP.	49
11	Ph mensal dos anos 2010/2011 de microbacias no município de Batatais, SP.	51
12	Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2010/2011 de microbacias no município de Batatais, SP.	53

13	Condutividade elétrica mensal dos anos 2010/2011 de microbacias no município de Batatais, SP.	55
14	Temperatura da água dos pontos de coletas mensais dos anos 2009/2010 e da temperatura mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.	61
15	Temperatura da água dos pontos de coletas mensais dos anos 2010/2011 e da temperatura mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.	63
16	Autovalores vetoriais dos componentes principais e a % da variância dos dados da água de microbacias hidrográficas do córrego da Prata, Batatais, SP, Brasil.	66
17	Autovalores da análise fatorial e resultados do Teste de Fischer (0,05%) dos autovetores F1 e F2, para as variáveis da água das microbacias do manancial do córrego da Prata, Batatais, São Paulo, Brasil. Total do número de observações = 168.	67

LISTA DE FIGURAS

1	Mapa de localização do município de Batatais no estado de São Paulo. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	13
2	Municípios limítrofes do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	14
3	Topografia do município de Batatais. Fonte: IBGE (1972).	17
4	Geologia do município de Batatais. Fonte: São Paulo (1981).	18
5	Solos do município de Batatais. Fonte: Embrapa (2006).	19
6	Hipsometria do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	20
7	Declividade do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	21
8	Compartimentos hidrológicos do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).	22
9	Microbacias de 1ª ordem de magnitude no compartimento hidrológico dos córregos da Prata e da Estiva, município de Batatais, SP. Fonte: São Paulo (1992) sem Escala.	27
10	Equipamento de coleta de dados. Fonte: Zanata (2009).	28
11	Rede de drenagem e modelo digital de elevação do terreno do município de Batatais, SP.	33
12	Compartimentos hidrológicos segundo a classificação SWAT do município de Batatais, SP.	34
13	Compartimentos hidrológicos, <i>Longest path</i> (linha azul) e o fundo do vale (linha amarela) segundo a classificação SWAT do município de Batatais, SP.	36
14	Compartimento hidrológico do córrego do Desengano ou do Retiro (14), com o <i>Longest.path</i> (linha azul) e o coeficiente de manutenção (linha amarela) segundo o modelo SWAT do município de Batatais, SP.	37

15	Compartimentos hidrológicos a Montante (8) e Jusante (9) do córrego Tomba Carro, mostrando os limites das microbacias (linha vermelha) definidos pelo modelo SWAT no município de Batatais, SP.	38
16	Compartimento hidrológico dos Olhos D'água (4), mostrando que o modelo SWAT no município de Batatais, SP, não considerou a divisa do município a jusante da microbacia delimitada.	39
17	Temperaturas mensais dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.	42
18	Ph mensal dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.	44
19	Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.	46
20	Condutividade elétrica mensal dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.	48
21	Temperaturas mensais dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.	50
22	Ph mensal dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.	52
23	Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.	54
24	Condutividade elétrica mensal dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.	56
25	Recipientes de coleta de água, na sequencia B1, B3, B8, B9, B11, B14 e Bp respectivamente da esquerda para a direita, em dezembro de 2009 no município de Batatais, SP.	57
26	Aspecto da mata ciliar da nascente principal da microbacia B8 em abril de 2011 no município de Batatais, SP.	58

27	Aspecto do capim braquiária (<i>Brachiaria spp</i>) dessecado na área de preservação permanente (APP) da nascente principal da microbacia B8, em abril de 2011, no município de Batatais, SP.	58
28	Aspecto da água da nascente principal da microbacia B8 em abril de 2011 no município de Batatais, SP.	59
29	Precipitação mensal em milímetros (mm) dos anos 2009/2011 no município de Batatais, SP.	60
30	Temperaturas da água mensais dos anos 2009/20120 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.	62
31	Temperaturas da água mensais dos anos 2010/2011 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.	64
32	Temperaturas da água mensais dos anos 2009/2011 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.	65

1 INTRODUÇÃO

Muito se tem discutido sobre a degradação ambiental, estratégias e gerenciamento das operações para propor cenários futuros do meio, para a recomposição da paisagem, evitar perdas dos recursos hídricos, energéticos, minerais e atmosféricos. O estudo da alteração ambiental em relação ao uso/ocupação das microbacias é realizado para propor estratégias, no intuito de utilizar modelos hidrológicos para prever o impacto da agricultura na qualidade e quantidade do recurso hídrico superficial e subterrâneo, construindo mecanismos eficientes de ações que impulsionam as atividades a serem realizadas a curto, médio e longo prazo.

A microbacia hidrográfica é uma região geomorfológica fundamental da superfície terrestre, sendo considerada pelos geomorfólogos e hidrólogos como principal unidade fisiográfica do terreno, porque suas características governam, no seu interior, todo o fluxo superficial e subsuperficial da água (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1974).

O município de Batatais abrange parte de duas regiões hidrológicas de extrema importância que produzem água para as bacias hidrográficas dos rios Pardo e Sapucaí. Dentre as microbacias produtoras de água do município destaca-se a do compartimento hidrológico do córrego da Prata e da Estiva, como manancial de abastecimento de água para a zona urbana do município de Batatais. Essa área de importância estratégica totaliza 59,98 km², com 52,9 km de cursos d'água abastecidos por 18 nascentes principais (ZANATA e PISSARRA, 2012).

O uso e a ocupação do solo do município, durante a expansão agrícola do estado de São Paulo, foram marcados pela agressividade na exploração de seus recursos naturais (ZANATA, 2009), e a intensificação do uso da terra transformou a paisagem em um mosaico de justaposições das áreas naturais e das submetidas às ações antrópicas (SUGIHARA et al., 2012).

Assim, para compreender a estrutura física destas áreas em relação ao uso/ocupação é necessário realizar a análise morfométrica dessas microbacias, para obter o diagnóstico da susceptibilidade à degradação ambiental, onde os resultados

nortearão o planejamento, o manejo e as medidas mitigadoras para a conservação de seus recursos hídricos.

Para estes estudos utiliza-se da análise morfométrica obtida em sistemas informatizados que caracterizam a área física das microbacias, como modelos hidrológicos, que representam a variação espacial e temporal dos parâmetros de entrada e saída do sistema. Nesse sistema de análise é importante verificar a variabilidade espacial da bacia hidrográfica, portanto, divide-se a área total em sub-bacias hidrográficas, onde as variáveis são consideradas uniformes (GASSMAN et al., 2007; MIGLIACCIO e CHAUBEY, 2008).

A utilização da modelagem e a base cartográfica em sistemas de informação geográfica (SIG), em conjunto com trabalho de campo, possibilita automatizar tarefas que anteriormente eram realizadas manualmente no estudo da paisagem, considerando as características fisiográficas (ramo da geografia que estuda a superfície da Terra em seu aspecto atual) como o clima, a pedologia e as características físicas e biológicas do ecossistema onde está inserida a microbacia.

O monitoramento das características físico-químicas da água superficial de algumas nascentes de seu manancial pela análise exploratória multivariada procura caracterizar aspectos relevantes que permitam diagnosticar as mudanças que ocorrem em função do uso e ocupação do solo, tornando possível avaliar os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas.

Os objetivos deste trabalho foram os de avaliar as características morfométricas de compartimentos hidrológicos do município de Batatais pelo modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) a fim de comparar os resultados obtidos de variáveis dimensionais e do relevo a partir da vetorização realizada no sistema de informação geográfica (SIG), monitorar as características físico-químicas das águas superficiais de algumas nascentes para verificar a alteração ambiental em relação ao uso/ocupação do solo dessas microbacias e correlacionar essas alterações ambientais através da análise exploratória multivariada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Morfometria

A análise morfométrica é o estudo quantitativo das formas do relevo, que possibilita inferências sobre as características relacionadas à pedologia, à rede hidrográfica e descreve a dinâmica das drenagens superficiais. Com isso, podem-se estabelecer níveis de fragilidades relacionados às características ambientais da área e sua susceptibilidade à degradação ambiental (PERES-NETO, 1995; CAMPOS, SILVA e GARCIA, 2012; VIEIRA et al., 2012).

Essas características retratam o comportamento das águas superficiais e subsuperficiais, com aspectos ligados ao tamanho e forma da microbacia, relacionados à geologia, material superficial e topografia (PISSARRA et al., 2004). A densidade de drenagem reflete a influência da origem geológica, da topografia, dos tipos de solo, da vegetação e das intensidades de precipitação, infiltração e escoamento superficial da água (RODRIGUES, 2004).

Segundo Silva, Alves e Rodrigues (2013), a ação do relevo reflete na ação da água tanto no sentido vertical, sendo esta a questão da infiltração da água no solo, quanto no sentido horizontal, que se refere ao escoamento superficial e a erosão. Em relevo pouco movimentado, a água encontra condições naturais para se infiltrar no solo e o escoamento superficial não é tão acentuado, resultando em maior intemperismo.

Pollo et al. (2012) concluíram que os baixos valores do fator de forma e da densidade de drenagem demonstram que a bacia possui uma forma ovalada e permitem inferir que o substrato tem boa permeabilidade com maior infiltração e menor escoamento superficial da água, desse modo, baixa susceptibilidade à erosão e degradação ambiental. Contudo, a manutenção da cobertura vegetal e da mata ciliar se torna fundamental para a conservação dos serviços ambientais.

A classificação da rede de drenagem e a hierarquização das microbacias hidrográficas foram realizadas de acordo com o sistema proposto por Horton (1945)

e modificado por Strahler (1957), no qual as nascentes são consideradas tributárias de 1ª ordem, que se unem e formam uma rede de 2ª ordem, e assim sucessivamente (ZANATA, 2009). A descrição das características morfométricas dimensionais, do padrão de drenagem e do relevo são conceituadas e calculadas de acordo com Zanata et al. (2011), Campos, Silva e Garcia (2012) e Mattos, Lourenço e Nascimento (2013), cujas fórmulas e as fontes bibliográficas das características em estudo no município de Batatais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dimensionais, da rede de drenagem e do relevo, fórmulas e fontes das variáveis em estudo no município de Batatais, SP.

Dimensionais	Descrição	Fórmula	Fonte
Área (A)	Superfície total da bacia.	A (km²)	Horton (1945)
Perímetro (P)	Comprimento da linha do divisor topográfico.	P (Km)	Smith (1950)
> Comprimento (C)	Linha reta sobre o vale principal, que une a foz ao extremo do divisor.	C (Km)	Schumm (1956)
> Largura (L)	Maior dimensão linear num eixo transversal ao vale por ela formado.	L (Km)	Strahler (1958)
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	Comprimento total dos seguimentos de rios que formam as microbacias.	Cr (km)	Horton (1945)
Fator de forma (Ff)	Razão entre a área e o quadrado do > comprimento.	$Ff = A / C^2$	Horton (1945)
Índice de circularidade (Ic)	Relação entre a área da bacia e a de um círculo.	$Ic = A / A_c$	Miller (1953)
Rede de drenagem	Descrição	Fórmula	Fonte
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre o Cr e a área da bacia (A).	$Dd = Cr / A$ (Km*Km ⁻²)	Horton (1945)
Coeficiente de manutenção (Cm)	Função da densidade de drenagem.	$Cm = (1/Dd) * 1000$ (m²)	Schumm (1956)
Relevo	Descrição	Fórmula	Fonte
Amplitude altimétrica (H)	Diferença entre o ponto de maior altitude e sua foz.	H (m)	Strahler (1957)

A área de estudo se caracteriza por ser uma drenagem fluvial contínua até o oceano (exorreica), formando cursos d'água que coincidem com a inclinação principal das camadas rochosas (consequentes), assemelhando-se à configuração de uma árvore, denominada dendrítica (ZANATA, 2009).

Para a análise dos dados da densidade de drenagem (Dd) foi usado como referencia o trabalho desenvolvido por França (1968), no qual a Dd pode ser interpretada como baixa ($<1,5$), média (1,5 a 2,5) e alta ($>2,5$). Tonello et al. (2006), citam que a forma da microbacia é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para sua saída após uma precipitação. Quanto maior o tempo de concentração menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILLELA e MATOS, 1975).

Estas análises podem ser efetuadas em sistemas de informação geográfica (SIG) e em programas de modelagem que caracterizam a bacia hidrográfica como elemento do terreno, para a implantação do manejo que auxiliam na tomada de decisões em políticas públicas, na conservação da água e do solo (VALLE JUNIOR et al., 2010; CARABALLO-ARIAS et al., 2013).

SWAT é uma ferramenta que auxilia a modelagem de superfície de sub-bacias e bacias hidrográficas, desenvolvido para prever o impacto do manejo do solo no recurso hídrico, no sedimento e a contaminação química por insumos agrícolas em bacias hidrográficas de maior extensão e complexidade, onde ocorra variação de solos e condições de manejo ao longo de vários períodos (NEITSCH et al., 2000).

Gassman et al. (2007), destacam a importância histórica, a aplicação e as diretrizes futuras para o uso da modelagem SWAT. Essa modelagem utilizada em escala de bacias, com dados coletados em séries temporais, é destinada para prever impactos quanto ao uso e ocupação do solo no recurso hídrico. O modelo SWAT é fisicamente e computacionalmente eficiente e capaz de simular cenários ao longo de períodos e importantes componentes podem ser incluídos como o clima, temperatura do solo e hidrologia, propriedades do solo, crescimento das plantas, nutrientes, patógenos, bactérias e pesticidas, o uso e a ocupação do solo.

White e Chaubey (2005) aplicaram o modelo SWAT no intuito de investigar alternativas de manejo em bacias hidrográficas em resposta ao comportamento hidrológico e à qualidade do recurso hídrico. A calibração e a validação do modelo são fatores preponderantes para a aplicação das práticas conservacionistas.

Karolina et al. (2009) estudaram a aplicação do modelo SWAT para as pequenas represas com entorno de áreas agrícolas na Polônia. Os resultados mostraram que a modelagem é uma ferramenta eficaz para definir as áreas de risco e áreas de manejo. A largura da faixa tampão vegetada deve ser suficiente para proteger as águas residuais provenientes de terrenos agrícolas para conservação ambiental dos corpos hídricos.

Minoti (2006) recomenda o modelo SWAT como ferramenta promissora relacionada ao estudo na unidade territorial de bacias hidrográficas. Há poucos trabalhos relacionados ao modelo SWAT no Brasil, sendo que, estes devem ser estimulados no país tendo em vista as mudanças climáticas e a quantificação de processos hidrossedimentológicos.

2.2 Recurso Hídrico

Alterações na quantidade, qualidade e distribuição dos recursos hídricos ameaçam a sobrevivência humana e as demais espécies do planeta. O desenvolvimento econômico e social dos países está fundamentado na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de sua conservação e proteção (TUNDISI, 2003).

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação internacional, não apenas porque ela representa uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista da integração quanto da funcionalidade de seus elementos, mas também porque toda área de terra, por menor que seja se integra a uma bacia (PISSARRA, 2002; PALLA, 1994).

A bacia hidrográfica é definida como a área compreendida por um rio principal (exutório da bacia) e seus afluentes ou tributários desde as nascentes, evidenciando uma superfície de grandeza escalar, definida pelo comprimento (extensão linear) do rio (PISSARRA, 2002).

A microbacia como unidade básica para a gestão dos recursos hídricos pode ser utilizada para designar segmentos fluviais, como áreas de proteção a partir de nascentes de rios. A partir do recorte do terreno, a área de trabalho pode ser configurada em função das ações que se pretenda programar, chegando à subunidade de bacia (sub-bacia).

Os resultados obtidos por Moreira et al. (2012) apontam para a degradação da qualidade de recursos hídricos causada pelo uso intensivo de agrotóxicos na agricultura, incluindo fontes de água de consumo humano e de chuvas, amplificando o risco de contaminação para além das áreas de plantio.

Garcia et al., (2006) estudaram a bacia do rio Corumbataí – SP, com dados do Atlas Ambiental do rio Corumbataí (CEAPLA, 2001), em altitudes de 400 a 1.000 metros, clima Cwa, 1450 mm anuais de chuva e lavoura de cana de açúcar, o modelo SWAT no sistema ArcGIS foi aplicado e o escoamento superficial, o nitrito e o nitrato foram monitorados. A forma NO_3^- é bastante solúvel e facilmente carregada pela água das chuvas.

O estudo revelou uma situação de equilíbrio precário levando em conta a expansão da lavoura de cana de açúcar em áreas não recomendadas, em função do relevo e tipo de solo. Essa inadequação se materializa com os sedimentos que acabam carregados para os cursos d'água, junto com os componentes dos fertilizantes utilizados nas culturas. Igualmente, o tipo de cobertura do terreno afeta o volume da água dos rios, pelo aumento do deflúvio em detrimento da infiltração. Isto aumenta a erosão e diminui a recarga dos aquíferos. O planejamento ambiental da área é necessário para prevenir a degradação ambiental mediante o zoneamento ecológico-econômico.

Segundo Guedes et al. (2012) as variações na qualidade da água no médio Rio Pomba foram definidas por um grupo de nutrientes associado ao esgoto doméstico e à poluição difusa, por um grupo orgânico, causado pelo lançamento de

esgoto doméstico no curso de água e por um grupo de sólidos em suspensão, expressando o processo de erosão hídrica na bacia. O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, visto que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental.

O monitoramento ambiental, em bacias hidrográficas, procura caracterizar aspectos relevantes que permitam diagnosticar as mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo, tornando possível avaliar os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas (QUEIROZ et al., 2010; TAYLOR e ALLEY, 2001).

A atividade agropecuária na bacia, com uso de fertilizantes e corretivos, tende a potencializar a presença de íons na água (WALLING, 1975), o lançamento de resíduos industriais, a mineração e o esgoto são efluentes que alteram as concentrações iônicas dos corpos d'água (SILVA, GALVÍNIO e ALMEIDA, 2010).

A melhor qualidade do recurso hídrico reflete nas outras características do ambiente aquático (MILSTEIN et al., 2005). A lixiviação de nitrato (WHITALL et al., 2010) aumenta com o maior volume de água no sistema da rede de drenagem e diminuem com a estiagem, sugerindo a necessidade de adoção de práticas de gestão de fertilizantes para a redução ou minimização da lixiviação de nitrato.

As concentrações de herbicidas encontradas no recurso hídrico estão relacionadas aos processos de escoamento das águas superficiais e à lixiviação de nutrientes nas águas subterrâneas do solo (HERMOSIN et al., 2013; ANDRADE et al., 2007).

Campos, Silva e Garcia (2012) consideram fundamental a existência de matas para o controle da erosão e de enchentes e, quando situadas em locais preservados adequadamente são fundamentais na recarga do lençol freático. Os serviços ambientais da floresta na microbacia hidrográfica, tais como: produção de água, manutenção da biodiversidade, seqüestro de carbono e beleza cênica da paisagem, são de fundamental importância na preservação da biosfera.

Com a adequada avaliação dos recursos hídricos utilizando o monitoramento dos dados relativos a uma microbacia, por exemplo, pode-se propor uma adequação da ocupação do solo em relação ao seu potencial e de suas limitações, tornando possível um manejo racional e equilibrado com a natureza, conquistando assim a sustentabilidade (CAMPOS, SILVA e GARCIA, 2012).

Segundo Tundisi (2008), o gerenciamento integrado, preditivo com alternativas e usos múltiplos deve ser implantado ao nível de bacias hidrográficas, com a finalidade de descentralizar o gerenciamento e dar oportunidades de participação dos usuários, do setor público e privado. A educação da comunidade em todos os níveis e a preparação de gestores com novas abordagens é outro necessário desenvolvimento da gestão de recursos hídricos no século XXI.

2.3 Análise multivariada

A análise exploratória multivariada é uma técnica que visa à análise de múltiplas variáveis inter-relacionadas, projetando a informação original relevante em planos bidimensionais. A análise multivariada dos parâmetros de qualidade da água indicam os locais que mais interferiram na modificação da qualidade do recurso hídrico (SONG et al., 2011), na caracterização da qualidade da água (ENTRY, 2012), na deterioração da qualidade da água devido às atividades agrícolas (COLETTI et al., 2010), contribuindo para o monitoramento da água e a disponibilidade desse recurso.

Vários autores utilizam a estatística multivariada para separar processos (LANG et al., 2010; JOFFRE e BOSMA, 2009; LUPWAYI et al., 2009; SOUZA et al. 2012; MORA-LEYVAL et al., 2007; MILSTEIN et al., 2005).

A probabilidade e a magnitude dos efeitos das ações antrópicas irão aumentar em função dos seres humanos continuarem a modificar a paisagem, assim, a compreensão multidisciplinar desses efeitos sobre as comunidades naturais e estudos empíricos para fornecer evidências dessas transformações são necessários (BLITZER et al., 2012).

Costa et al. (2013) estudaram questões relacionadas aos fatores determinantes ao desenvolvimento agropecuário em 22 municípios do Estado de Minas Gerais com o uso de análise fatorial. A técnica da análise multivariada fatorial consiste na tentativa de determinar relações quantitativas entre as variáveis, para redução de dados e representar um conjunto de variáveis por um número menor de variáveis, chamados de fatores.

Para Araújo et al. (2013) a análise multivariada de dados pode contribuir para compreensão da função desempenhada por cada atributo analisado, podendo identificar qual ou quais devem ser utilizados como indicadores básicos. Esses possibilitam melhor entendimento da dinâmica de alterações da estrutura do solo antropizado, com identificação de indicadores básicos, redução do número de análises e o monitoramento contínuo.

Hermosin et al. (2013) comentam que a análise dos componentes principais é muito útil em estudos ambientais para identificar padrões e fontes de contaminação difusas. A técnica multivariada de análise de fatores é também usada para interpretar dados obtidos de amostras de fontes diversas, seja orgânica ou inorgânica, física ou química, no solo ou na água (BUSTAMANTE et al., 2011; FERNANDES et al., 2011). Assim, processos ecológicos que agregam a variabilidade principal das variáveis medidas podem ser identificados através da análise de fatores.

Milstein et al. (2005) comentam que a análise de fatores é uma técnica exploratória multivariada que aloca o relacionamento em torno de um conjunto de variáveis, a ser explicado em termos de um número limitado de novas variáveis. Entre as diversas técnicas disponíveis para extração de fatores, nós usamos os componentes principais, onde o primeiro fator extraído é uma combinação linear das variáveis originais, que agregam a maior variação contida nas amostras tanto quanto possível.

O segundo fator é a segunda função linear das variáveis originais, daquilo que sobrou da variabilidade restante, e assim por diante. Os fatores são independentes uns dos outros, não têm unidades e são variáveis padronizadas (distribuição normal, média = 0, variância = 1). Os coeficientes das funções lineares definem os fatores

usados e interpretam o seu significado, usando o sinal e o valor relativo dos coeficientes como uma indicação do peso a ser colocado a cada variável.

O efeito das variáveis físico-químicas da água das microbacias, a amostragem mensal e a interação foram testados utilizando a análise de variância (ANOVA) e os fatores foram testados pelo modelo linear geral (GLM) e pelo teste de Fischer com significância estatística de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises foram processadas no programa Statistica da empresa Statsoft® (2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Batatais está localizado na região nordeste do estado de São Paulo, na região administrativa de Ribeirão Preto e Franca (Figura 1). Os municípios de Restinga, Franca, Patrocínio Paulista, Altinópolis, Brodowski, Jardinópolis, Sales Oliveira e Nuporanga (Figura 2) são fronteiriços.

A extensão superficial oficial é de 850,72 km² e a composição geográfica está definida entre as coordenadas UTM (Sistema Universal Transverso de Mercator), cito longitudes 210,088 km e 249,685 km E, latitudes 7.671,320 km e 7.709,721 km N, MC 51° WGr., com altitude média estimada de 862 m. O fuso horário - UTC-3 (Tempo Universal Coordenado) é o fuso horário de referencia a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias. A população é de 53.525 habitantes com densidade de 62,91 hab./km² (IBGE, 2010).

De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen e Geiger (1928), simplificada por Setzer (1966) e utilizado na regionalização do estado de São Paulo (CEPAGRI, 2012), a região de estudo é classificada como subtropical quente de inverno seco (Cwa), ou seja, com a temperatura do ar média e normal do mês mais quente e chuvoso acima de 22 °C, e inverno frio e seco com temperaturas inferiores a 18 °C no mês mais frio (ROLIM et al., 2007). Segundo São Paulo (1999) ocorre na região precipitações médias entre 1100 e 1700 mm anuais. As geadas são raras ou pouco frequentes e a deficiência hídrica é pequena ou nula.

No município de Batatais, como na maior parte do estado, o período chuvoso ocorre de outubro a março, recebendo cerca de 80% das chuvas anuais, com o trimestre mais chuvoso de dezembro a fevereiro. O período mais seco vai de abril a setembro, com o trimestre mais seco entre junho e agosto, onde ocorrem cerca de 5% das chuvas.

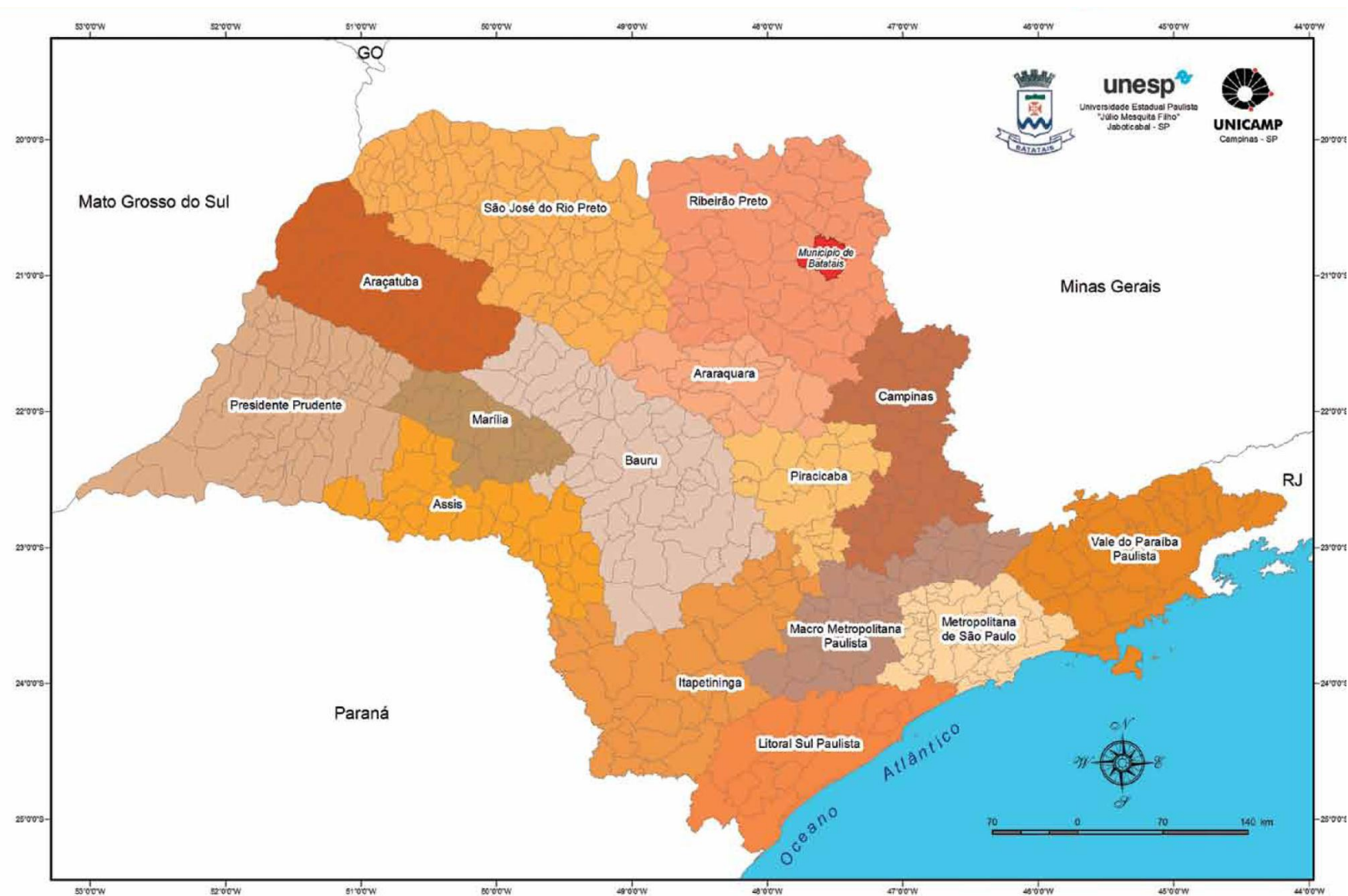


Figura 1. Mapa de localização do município de Batatais no estado de São Paulo. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).

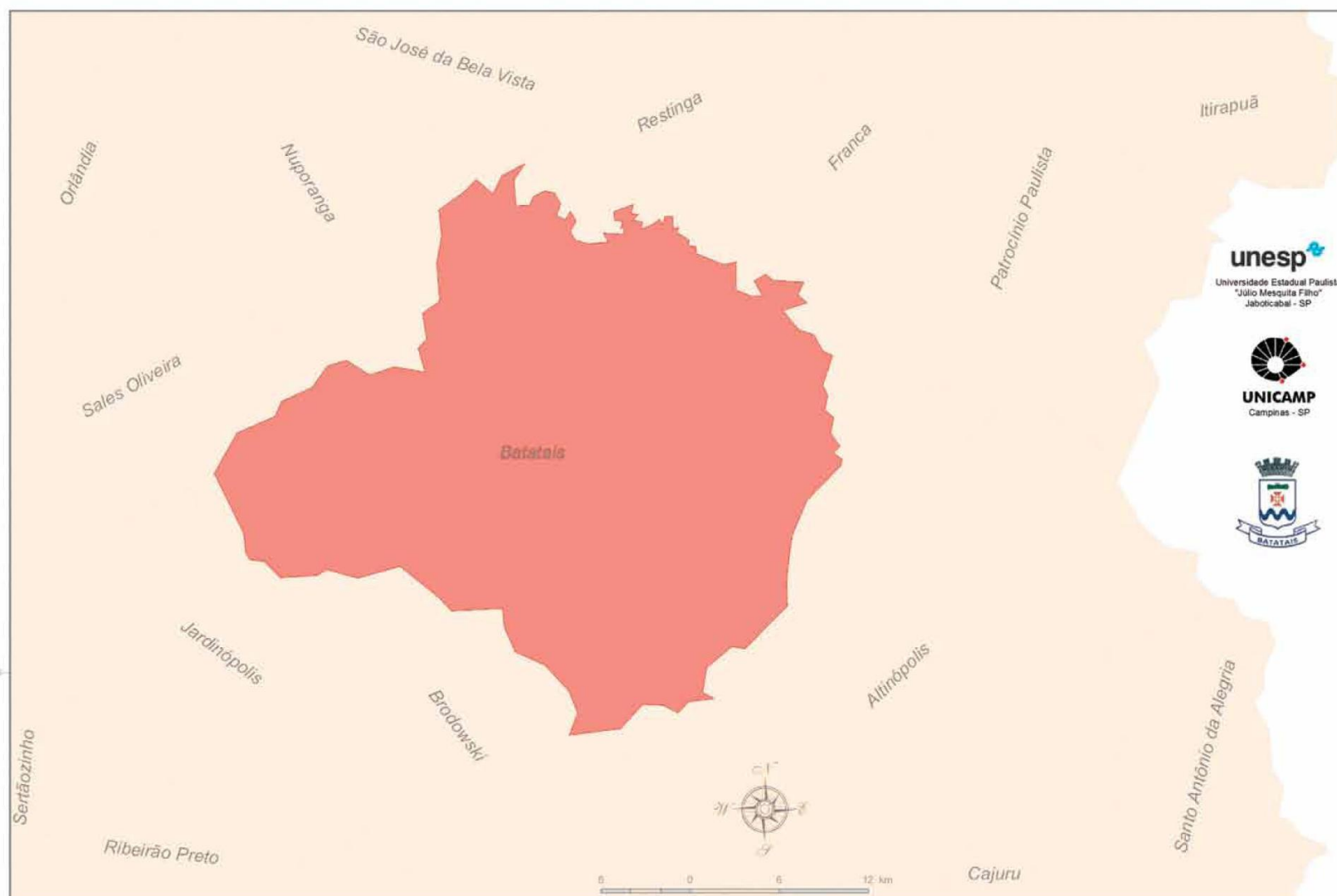


Figura 2. Municípios limítrofes do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).

A ocupação das terras do município de Batatais ocorreu em função da região ter sido pouso dos tropeiros e bandeirantes, que se deslocavam em direção às minas de ouro de Goiás. Esses pousos, formados inicialmente a partir dos caminhos abertos pelos bandeirantes, eram conseqüentemente transformados em povoados. A decadência da atividade de mineração no estado de Minas Gerais, e a vinda de pecuaristas mineiros em busca de novas oportunidades nas terras férteis do planalto paulista também contribuíram para a formação do município.

Em 1814, o município de Batatais foi denominado inicialmente como Freguesia do Senhor Bom Jesus de Batatais, pertencendo ao município de Mogi - Mirim até 1821. A partir de 1821 passa a pertencer ao município de Franca que ao desmembrar-se em 1839 ficou instituído o município de Batatais, nome atual.

O desenvolvimento da região foi embasado nas atividades agropecuárias, criação de gado e produção de açúcar (século XVIII) e, posteriormente, com a cultura do café (século XIX). No século XX, o período de crescimento nos anos 20 entra em declínio com a crise de 1929, resultando na divisão das grandes fazendas em pequenas e médias propriedades, na substituição de culturas e no deslocamento da população rural.

Atualmente, o município de Batatais está dividido em aproximadamente 631 propriedades rurais, onde mais de 50% tem área até 50 hectares, com economia baseada principalmente na agropecuária, com destaque para a cultura da cana de açúcar, silvicultura, milho, soja e café, além da suinocultura e avicultura.

3.2 Morfometria

Para melhor compreender a estrutura física da superfície do município de Batatais foram utilizados os mapas elaborados por Zanata e Pissarra (2012). A fundamentação científica para a confecção destes levou em consideração técnicas de sensoriamento remoto, análise quantitativa das características ambientais e morfométricas da bacia hidrográfica e trabalho de campo.

A base cartográfica das cartas topográficas editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1972), em escala 1:50000, equidistância vertical entre curvas de nível de 20m foi empregada como material auxiliar na delimitação de diversas características da área de estudo e principalmente como ponto de apoio planialtimétrico (Figura 3). O mapa geológico foi elaborado a partir dos dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (SÃO PAULO, 1981) (Figura 4).

O grupo São Bento, com rochas sedimentares das formações Piramboia e Botucatu (que compõem o aquífero Guarani), rochas ígneas basálticas da formação Serra Geral (SÃO PAULO, 1981) e o depósito arenítico da formação Itaqueri (ZANATA e PISSARRA, 2012) são as unidades geológicas da área de estudo.

A subdivisão adotada no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1981) indica que a região pertence à Província Geomorfológica das Cuestas Basálticas, que se caracteriza por apresentar um relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica, seguido de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção à calha do Rio Paraná. Constitui-se de camadas de rochas areníticas e basálticas, em relevo com alinhamento de escarpas com cortes abruptos e íngremes em sua parte frontal e um declive suave em seu reverso, constituindo a escarpa e o reverso das cuestas (SÃO PAULO, 1981).

O mapa de solos (Figura 5) foi elaborado com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Os principais tipos de solos são os de textura média, como Latossolo Vermelho distroférico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Os Gleissolos são encontrados nas várzeas aluviais onde ocorre o sedimento aluvionar (Figura 4). Esse tipo de solo é caracterizado pela redução de ferro (Fe), forte influencia do lençol freático e praticamente ser livre de oxigênio dissolvido (EMBRAPA, 2003).

Os estudos hipsométricos possibilitam conhecer o relevo de uma região de forma mais aprofundada e os fenômenos que se processam em sua superfície. O mapa da declividade do terreno (Figura 7) foi elaborado com dados de altitude (Figura 6) e a classificação da declividade foi estabelecida de acordo com a Embrapa (1999). Para a análise morfométrica pelo SIG o município foi dividido em 17 compartimentos hidrológicos (Figura 8 e Tabela 2).

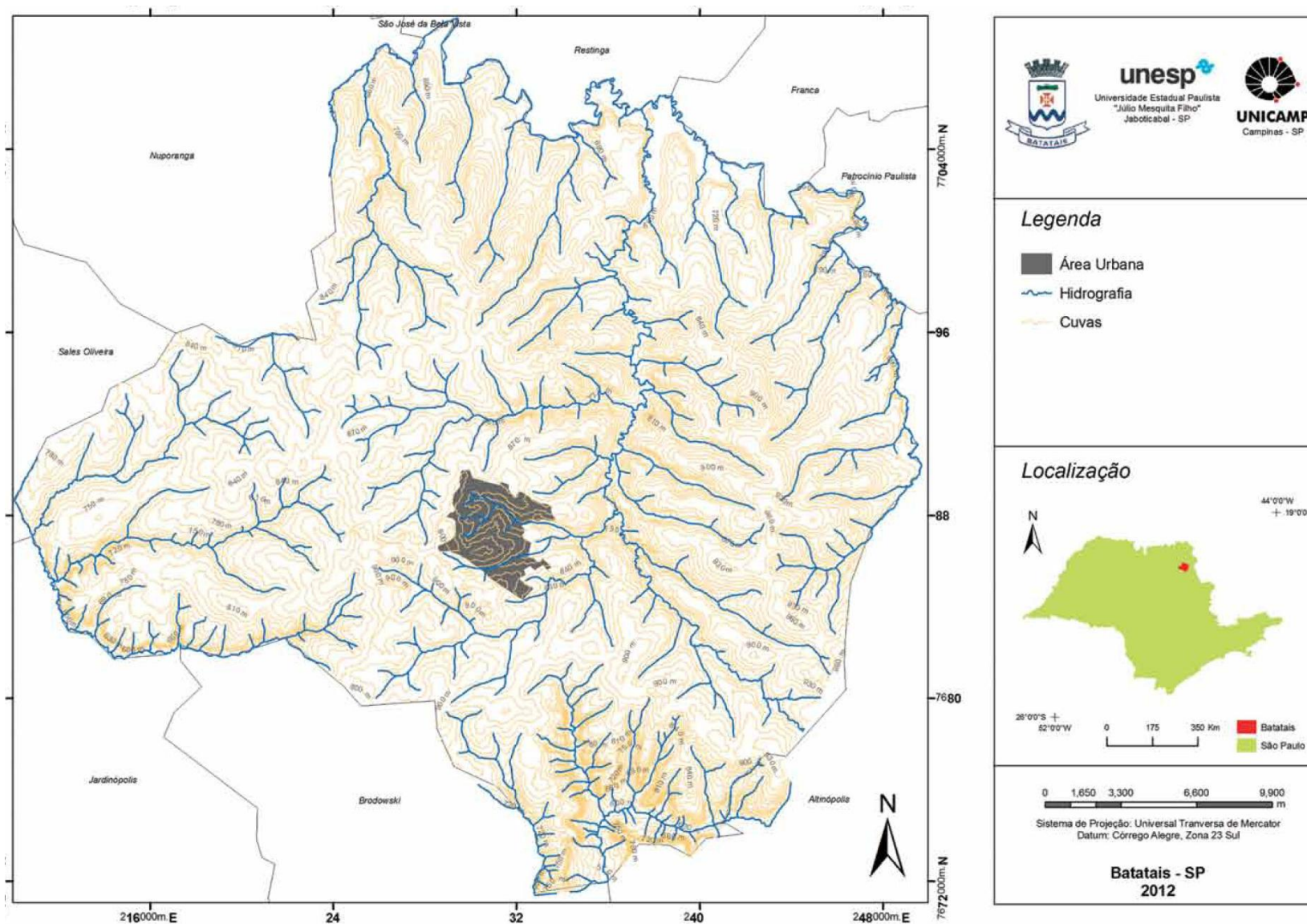


Figura 3. Topografia do município de Batatais. Fonte: IBGE (1972).

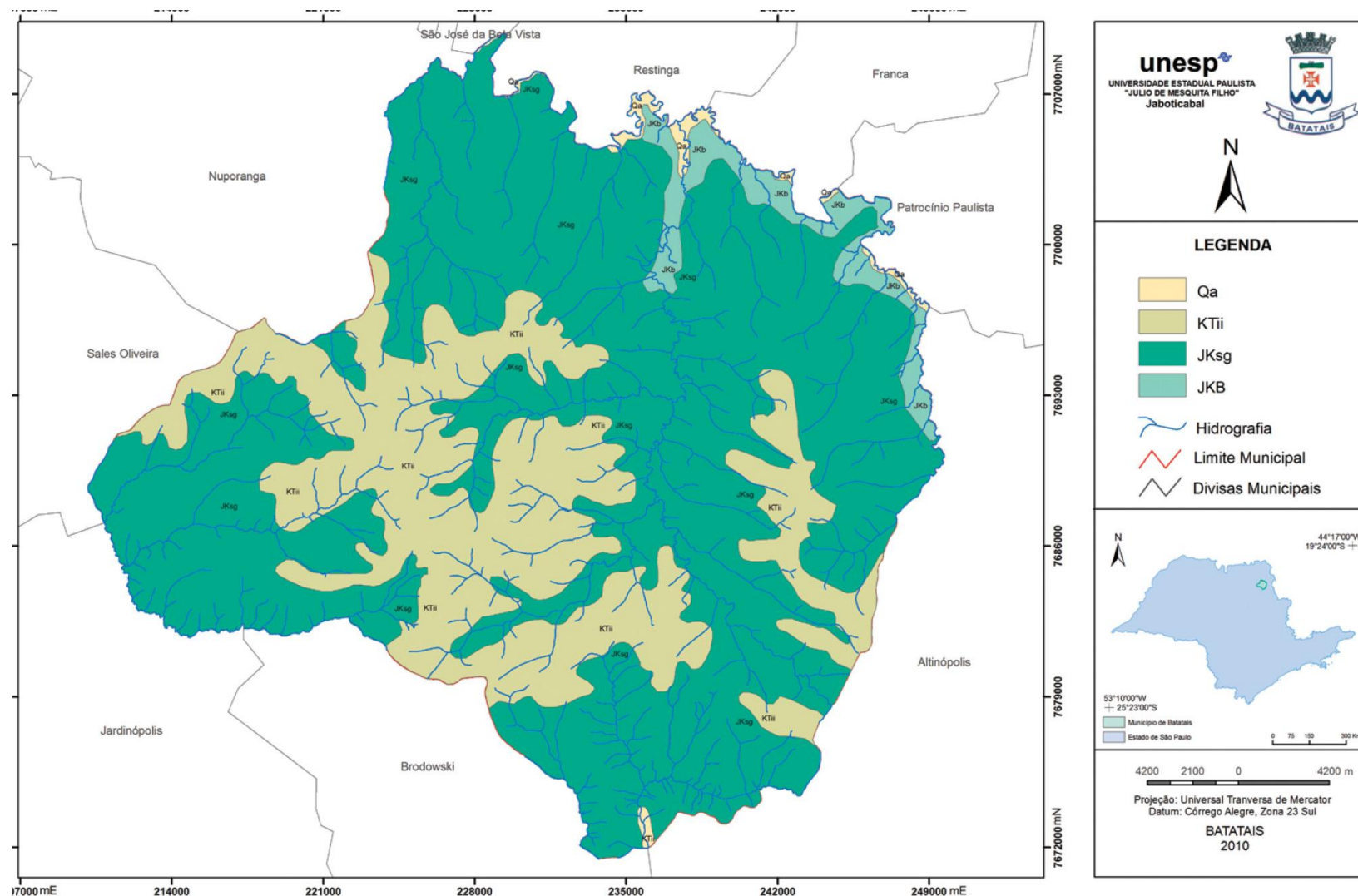


Figura 4. Geologia do município de Batatais. Fonte: São Paulo (1981). Onde: Qa = sedimentos aluvionares; JKB = Grupo São Bento Formação Botucatu; JKsg = Grupo São Bento Formação Serra Geral; KTii = Formação Itaqueri.

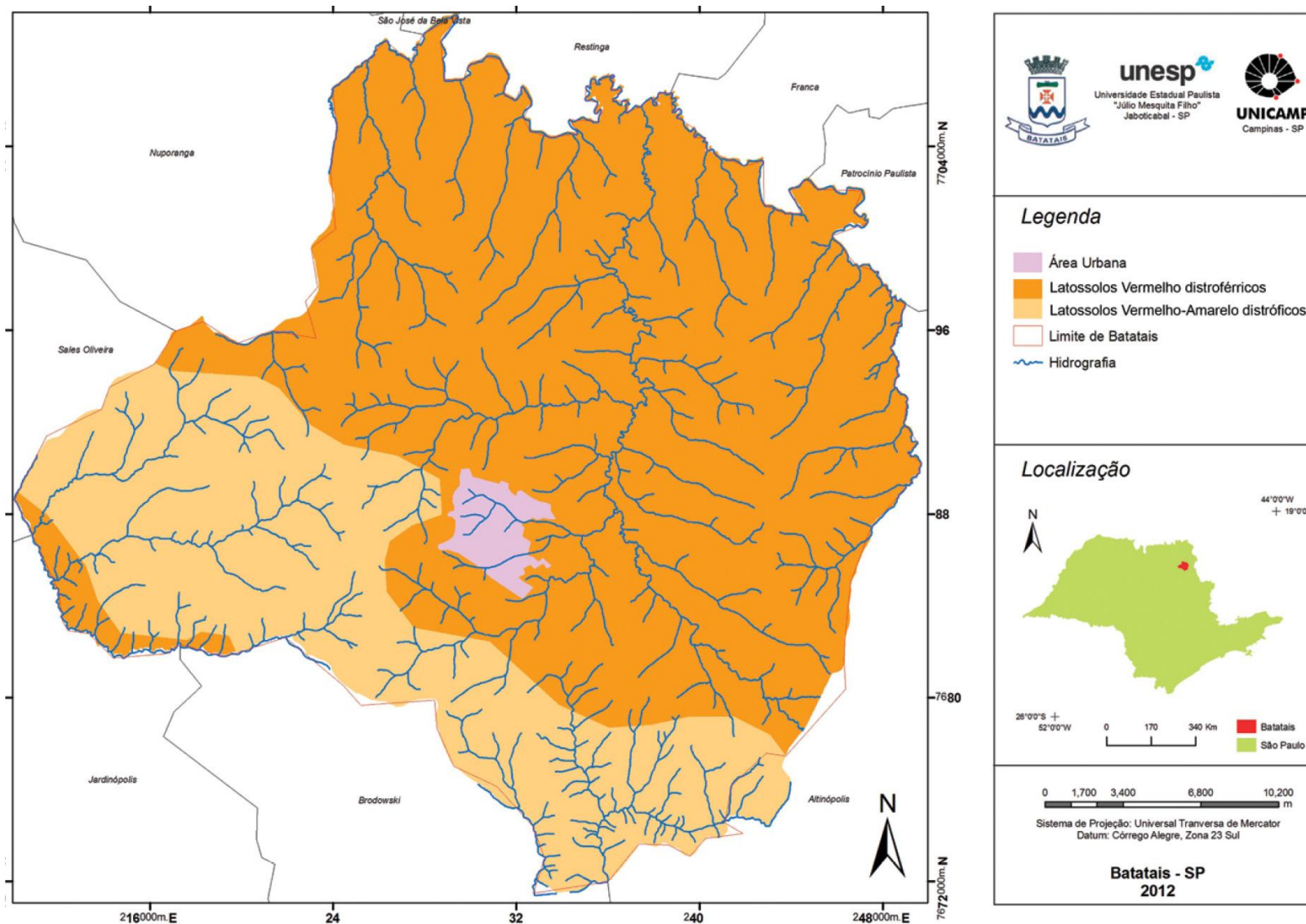


Figura 5. Solos do município de Batatais. Fonte: Embrapa (2006).

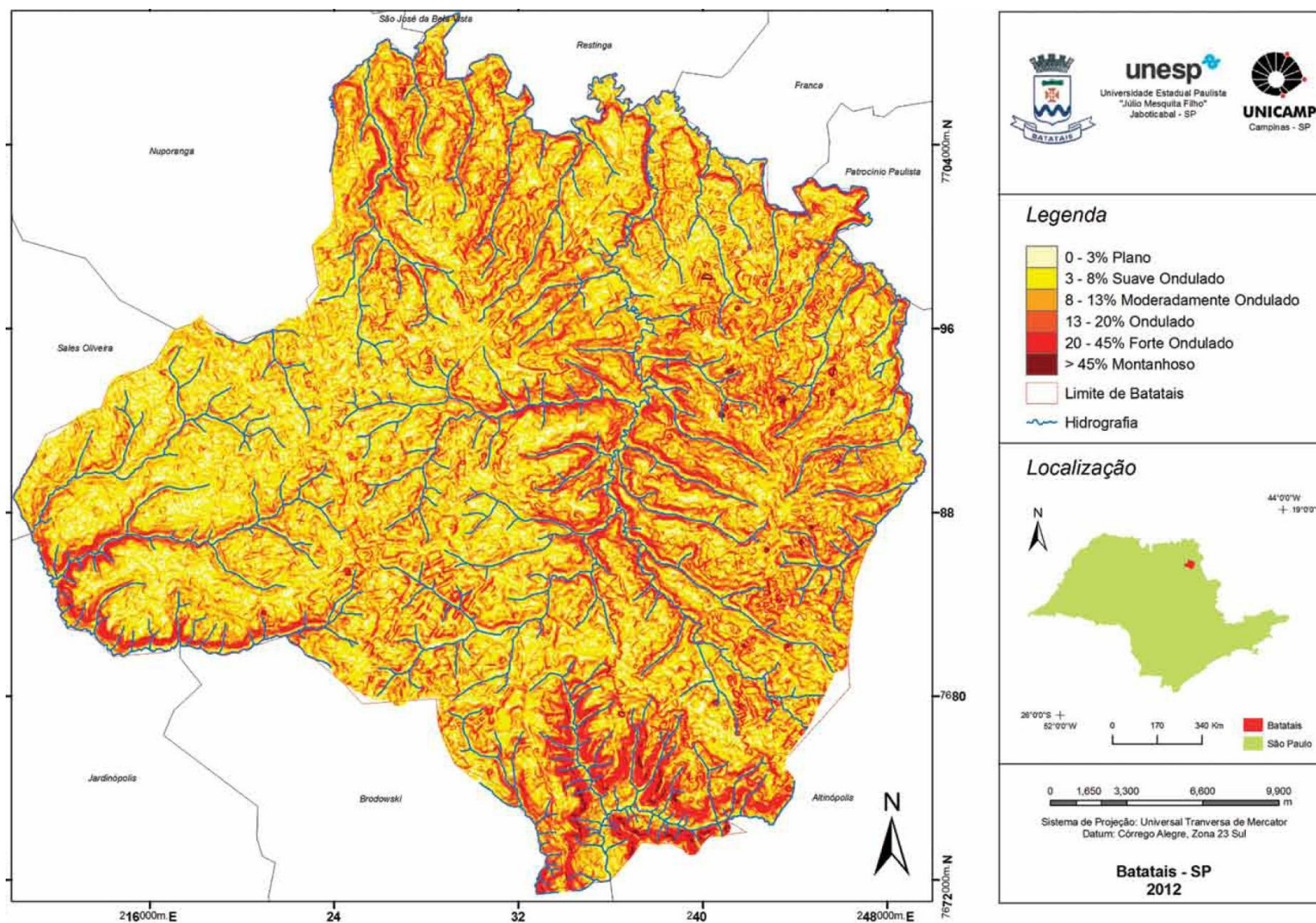


Figura 7. Declividade do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).

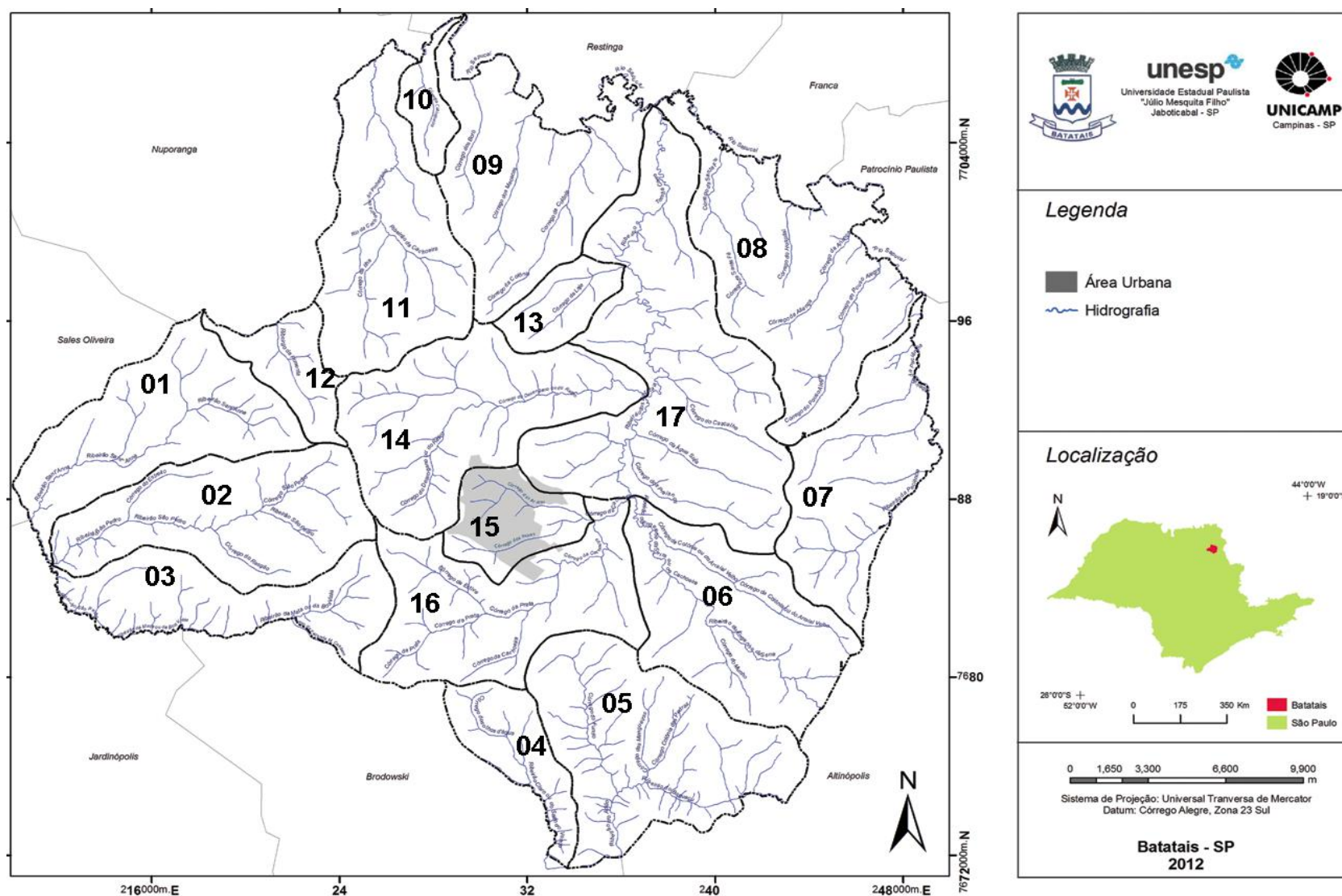


Figura 8. Compartimentos hidrológicos do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).

Tabela 2. Compartimentos hidrológicos do município de Batatais. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).

Número	Bacias que afluem para o rio Pardo
01	Ribeirão Santana
02	Ribeirão São Pedro
03	Ribeirão da Mata ou da Boa Vista
04	Córrego Olhos D'água
05	Ribeirão do Adão
Bacias que afluem para o rio Sapucaí	
06	Ribeirão do Engenho da Serra
07	Ribeirão da Paciência
08	Afluentes a montante do Córrego Tomba Carro
09	Afluentes a jusante do Córrego Tomba Carro
10	Córrego do Catingueiro
11	Ribeirão da Cachoeira ou do Pinheirinho
12	Ribeirão da Pimenta
13	Córrego da Laje
14	Córrego do Desengano ou do Retiro
15	Córrego das Araras e dos Peixes
16	Córrego da Prata e da Estiva
17	Córrego Tomba Carro

Esta divisão considerou as regiões hidrológicas de importância para o município de Batatais, respeitando as divisas das bacias hidrográficas de acordo com sua distribuição geográfica e estratégica em relação ao uso e ocupação do solo e ao abastecimento de água para a zona urbana da cidade. As linhas dos divisores de água e da rede de drenagem foram vetorizadas no sistema de informação geográfica ArcGIS 9, versão ArcMAP 9.3.1 (ESRI ArcGIS 9®), utilizando-se dos comandos específicos de linhas e polígonos.

Desse modo, inicialmente as bacias hidrográficas que afluem para os rios Sapucaí e Pardo, cujo divisor topográfico coincide com a rodovia Altino Arantes, que liga Altinópolis a Sales Oliveira foram separadas, sendo vetorizadas, criando-se os polígonos de cada área de interesse (Tabela 2 e Figura 8). Os ribeirões Santana, São Pedro, da Mata, Olhos d'água e Adão afluem para a bacia hidrográfica do rio Pardo e os ribeirões da Pimenta, Catingueiro, Pinheirinho, Tomba Carro e Paciência para a bacia hidrográfica do rio Sapucaí. As características dimensionais da rede de drenagem do município de Batatais calculada pelo SIG são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dimensionais da rede de drenagem do município de Batatais obtidas no SIG. Fonte: Zanata e Pissarra (2012).

Compartimento Hidrológico	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	> Comp. (Km)	> Largura (Km)	Drenagem (Km)
01(Santana)	55.31	39.56	13.02	6.95	45.96
02(São Pedro)	59.74	36.01	13.92	6.14	46.00
03(Mata ou da Boa Vista)	41.81	42.74	14.76	5.89	50.89
04(Olhos D'água)	20.10	24.15	9.95	3.74	24.77
05(Adão)	71.08	39.89	12.71	9.81	89.29
06(Engenho da Serra)	61.12	35.22	13.25	6.87	53.42
07(Paciência)	49.65	40.45	16.07	6.59	53.16
08(Montante Tomba Carro)	76.44	59.65	16.64	8.81	78.70
09(Jusante Tomba Carro)	63.32	55.13	13.96	8.70	63.27
10(Catingueiro)	9.25	18.12	7.34	2.90	9.42
11(Cachoeira ou Pinheirinho)	63.25	39.74	15.30	6.78	56.36
12(Pimenta)	16.39	23.61	8.63	4.29	12.53
13(Laje)	13.62	15.48	6.26	2.89	11.38
14(Desengano ou do Retiro)	67.05	39.12	13.47	7.97	62.24
15(Araras e dos Peixes)	20.34	19.24	6.57	4.59	19.19
16(Prata e Estiva)	59.98	45.33	13.85	10.09	52.90
17(Tomba Carro)	107.75	63.29	20.73	11.73	102.65
	856.18	636.73			832.13

A microbacia do ribeirão Tomba Carro é formado pelas microbacias de captação superficial de água (Prata e Estiva) e da zona urbana do município (Peixes e Araras), que se juntam à microbacia do ribeirão do Engenho da Serra e passa a ser denominado de ribeirão dos Batatais. Mais a jusante recebe as águas da microbacia do córrego do Retiro ou Desengano e passa a ser denominado ribeirão Tomba Carro, recebe o córrego da Laje e outros afluentes antes de chegar ao rio Sapucaí, ocupando assim, 38,5% da área do município de Batatais. Estes cursos d'água formadores da bacia hidrográfica do rio Sapucaí e do rio Grande, se juntam às águas do pantanal mato-grossense e do rio Paraguai, antes de alcançar o oceano Atlântico na bacia da Prata, divisa com o Uruguai.

O modelo hidrológico para análise e comparação das características da área e da amplitude altimétrica foi gerado no programa ArcSWAT 2009. Este programa usa para calcular a área e as variáveis de relevo o modelo de elevação digital (DEM). A interface foi determinada também no sistema de informação geográfica ArcGIS 9, versão ArcMap 9.3.1 (ESRI ArcGIS 9®). A metodologia seguiu os preceitos dos trabalhos desenvolvidos na programação do SWAT realizada por Neitsch et al. (2000).

A direção do fluxo de água foi gerada na base DEM e a área limite para definir as sub-bacias possuem uma posição geográfica espacialmente relacionada aos pontos pré-determinados para a análise morfométrica realizada no sistema de informação geográfica (Figura 8). Um banco de dados e um número específico (Tabela 2) foram correlacionados.

Em cada ponto foi estimado a partir do DEM da bacia a direção do fluxo corrente de água, a declividade, a área e os canais de drenagem (NEITSCH et al., 2000). Para a comparação da área e das características do relevo das sub-bacias foram calculadas as áreas e obtidas as maiores e menores cotas para o cálculo da amplitude altimétrica.

Toda a base de dados foi georreferenciada na base cartográfica do IBGE (1972), Datum horizontal Córrego Alegre, MG; e Datum vertical marégrafo Imbituba, MG. Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM,

com origem da quilometragem no Equador e Meridiano 51° W Gr., acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente, com equidistância das curvas de nível a cada 20 metros e Escala 1:50000.

3.3 Recurso Hídrico

Para a análise do recurso hídrico, o compartimento hidrológico do córrego da Prata e da Estiva (16), que está localizada entre as coordenadas geográficas 20°53'35" a 20°57'54" de Latitude S e 47°31'45" a 47°33'21" de Longitude W.Gr., a uma altitude média de 880 m, no município de Batatais, estado de São Paulo, Brasil, foi selecionada (ZANATA, 2009).

A base cartográfica do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), escala 1:10000 (SÃO PAULO, 1992), Capão Grande (SO-B), Batatais (SE-A), Fazenda Esteio (SE-B), Ribeirão da Mata (SO-D), Córrego da Prata (SE-C), Chácara Caiapós (SE-D), Brodowski (SO-F) e Córrego Olhos D'água (SE-E) foram usadas para detalhar o compartimento Prata e Estiva (Figura 9).

As microbacias hidrográficas de 1.^a ordem de magnitude foram selecionadas pelo tipo de uso/ocupação do solo ao redor de suas nascentes, para que a água a ser analisada não receba influência direta de outra cobertura vegetal, eliminando assim, os efeitos sobre a movimentação dos nutrientes e da qualidade da água de outro tipo de uso/ocupação do solo.

No compartimento da Prata e da Estiva (16), o uso e a ocupação do solo separam dois grupos de microbacias, as com maiores porcentagens de áreas cobertas com lavoura de cana-de-açúcar (B1, B3 e B8), as com reflorestamentos do gênero *Pinus* (B9, B11 e Bp). Devido a maior porcentagem de remanescente florestal nativo e reflorestamento com árvores nativas (Figura 9) a microbacia B14 foi usada como testemunha.

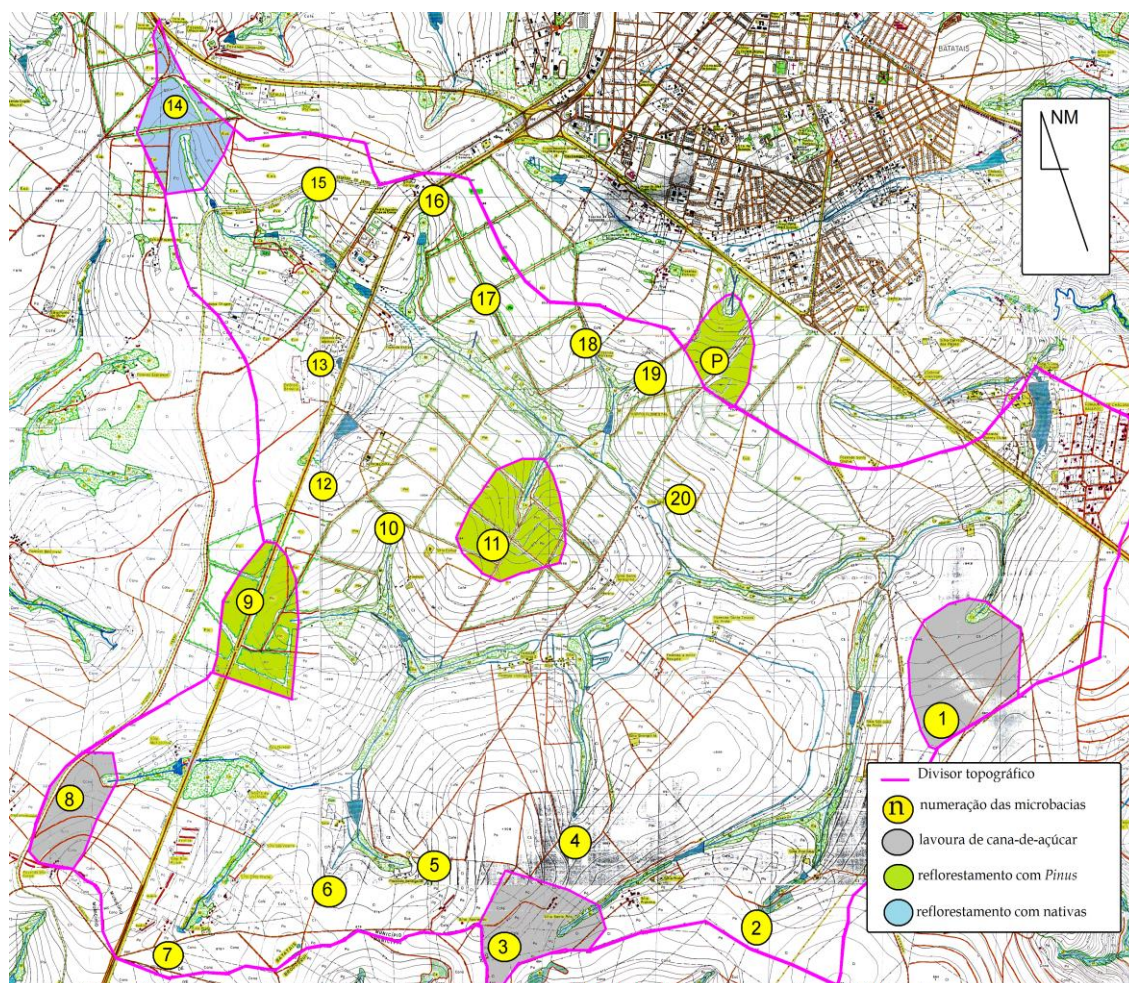


Figura 9. Microbacias de 1ª ordem de magnitude no compartimento hidrológico dos córregos da Prata e da Estiva, Batatais, SP. Fonte: São Paulo (1992) sem Escala.

A seleção dos pontos de coleta foi idealizada com o intuito de calcular a variação no tempo e no espaço, das variáveis físico-químicas e determinar as condições de qualidade da água. Em cada microbacia, o recurso hídrico superficial das nascentes foi amostrado em pontos distintos em cada microbacia, próximos de cada cabeceira de nascente, mensalmente, durante 24 meses (Ano 1 e Ano 2).

As observações *in loco* das ocorrências da atividade agrícola, fauna, flora e aspectos ligados aos corpos d'água foram registradas durante cada campanha, inclusive com documentação fotográfica.

A medidas de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT) foram obtidas nas águas das nascentes com o equipamento Combo da marca Hanna®, calibrado durante as primeiras aferições de cada campanha (Figura 10).



Figura 10. Equipamento de coleta de dados. Fonte: Zanata (2009).

As principais características de uso e ocupação do solo nas microbacias hidrográficas estão descritas nos Apêndices 1 a 7.

Os dados de precipitação, temperatura máxima e mínima são aferidos diariamente na sede administrativa da Floresta de Batatais, em área inserida na microbacia B14, perfazendo uma série temporal de 44 anos.

Os dados de chuva são anotados mediante aferição com proveta de volume previamente determinado para medir até 7 mm de cada vez. O termômetro de temperaturas máximas e mínimas está em local abrigado do sol, porém, em temperatura ambiente. Os dados são coletados diariamente pela manhã, quando é coletada a temperatura máxima do dia anterior e a mínima da manhã do dia da coleta.

3.4 Análise multivariada

A análise multivariada refere-se a todos os métodos estatísticos multivariados que simultaneamente analisam múltiplas medidas (variáveis) sobre cada indivíduo ou objeto investigado.

Entre as diversas técnicas disponíveis para extração de fatores, utiliza-se os componentes principais, onde o primeiro fator extraído é uma combinação linear das variáveis originais, que agregam a maior variação contida nas amostras tanto quanto possível.

O segundo fator é a segunda função linear das variáveis originais, daquilo que sobrou da variabilidade restante, e assim por diante. Os fatores são independentes uns dos outros, não têm unidades e são variáveis padronizadas (Distribuição normal, média = 0, variância = 1) (MILSTEIN et al., 2005).

Os coeficientes das funções lineares definem os fatores usados e interpretam o seu significado, usando o sinal e o valor relativo dos coeficientes como uma indicação do peso a ser colocado a cada variável.

O efeito do uso e ocupação das microbacias, a amostragem mensal com seu efeito transversal em cada variável original e o fator extraído foram testados com o modelo linear geral (GLM), utilizando a análise de variância (ANOVA) e o teste de Fischer com significância estatística de 5% ($p < 0,05$).

Para tanto, todas as análises exploratórias multivariadas dos dados foram realizadas no programa Statistica da empresa Statsoft® (2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Morfometria

Os baixos valores obtidos (Tabela 4) para o fator de forma (Ff) e o distanciamento do índice de circularidade (Ic) da unidade confirmam ser bacias mais alongadas (VILLELA e MATOS, 1975), com menor tendência de ter a forma circular e menor susceptibilidade às enchentes mais acentuadas (SANTOS et al., 2012; TORRES et al., 2011; CARDOSO et al., 2006).

TABELA 4. Características morfométricas da rede de drenagem do município de Batatais obtidas no SIG.

Compartimento Hidrológico	Ff	Ic	Dd	Cm	> Alt (m)	< Alt (m)	Amp (m)
01 (Santana)	0,33	0,44	0,83	1203,4	887	600	287
02 (São Pedro)	0,31	0,58	0,77	1298,7	934	600	334
03 (Mata / Boa Vista)	0,19	0,29	1,22	821,6	933	572	361
04 (Olhos D'água)	0,20	0,43	1,23	811,5	934	612	322
05 (Adão)	0,44	0,56	1,26	796,1	968	568	400
06 (Engenho da Serra)	0,35	0,62	0,87	1144,1	1014	742	272
07 (Paciência)	0,19	0,38	1,07	933,9	1002	662	340
08 (Montante T. Carro)	0,28	0,27	1,03	971,3	951	630	321
09 (Jusante T. Carro)	0,32	0,26	1,00	1000,8	901	626	275
10 (Catingueiro)	0,17	0,35	1,02	981,9	814	628	186
11 (Cachoeira/Pinheirinho)	0,27	0,50	0,89	1122,3	921	639	282
12 (Pimenta)	0,22	0,37	0,76	1308,1	901	787	114
13 (Laje)	0,35	0,71	0,84	1196,8	916	688	228
14 (Desengano / Retiro)	0,37	0,55	0,93	1077,3	941	700	241
15 (Araras / Peixes)	0,47	0,69	0,94	1059,9	944	760	184
16 (Prata / Estiva)	0,31	0,37	0,88	1133,8	941	741	200
17 (Tomba Carro)	0,25	0,34	0,95	1049,7	988	642	346

Onde: Ff = Fator de forma; Ic = Índice de circularidade; Dd = Densidade de drenagem; Cm = Coeficiente de manutenção; > Alt = Maior altitude; < Alt = Menor altitude; Amp = Amplitude.

Os baixos valores ($< 1,5$) obtidos para as densidades de drenagem (Tabela 4) definem microbacias com maior infiltração de água no solo e menor erosão. Segundo Christofolletti (1974) o cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. Portanto, baixos valores de densidade de drenagem sugerem maior comprimento dos rios.

O coeficiente de manutenção (C_m) representa a área mínima necessária para a manutenção de 1,0 metro de canal de escoamento (SCHUMM, 1956), é considerado como um dos índices mais importantes do sistema de drenagem e os valores acima de $1000 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ (Tabela 4), indicam que, de uma maneira geral, essas microbacias são ricas em cursos d'água.

O fato do modelo SWAT não aferir o perímetro (em m) impede o cálculo do índice de circularidade (I_c). O modelo SWAT não apresenta o dado maior comprimento, assim o fator de forma (F_f) também não pode ser calculado. O modelo SWAT utiliza o modelo digital de elevação para identificar o fundo do vale. A obtenção dos dados pelo modelo SIG está baseado na identificação da rede de drenagem e nas curvas de nível.

Os dados de área obtidos pelo modelo SWAT (Tabelas 5) comparado aos dados do SIG (Tabela 3) mostram diferença de 10% a menor para o valor obtido no SWAT. Assim como Brubacher et al. (2012) esse resultado está associado à dificuldade de delimitação dos divisores de água de forma automática. Entretanto, os dados de maior altitude (entre o Engenho da Serra e o da Paciência), menor altitude e maior amplitude (ribeirão do Adão) coincidem.

Para a comparação entre os dados de morfometria obtidos pelo SIG e os do modelo SWAT, foi considerada a rede de drenagem no modelo de elevação digital do terreno (DEM) visto na Figura 11.

TABELA 5. Comparação entre resultados de dados morfométricos obtidos no modelo SWAT e SIG para áreas da rede de drenagem do município de Batatais.

Compartimento Hidrológico	Área SWAT (Km ²)	Área SIG (Km ²)	SIG – SWAT (Km ²)	SWAT > Alt (m)	SWAT < Alt (m)	SWAT Amp (m)	SIG Amp (m)	SIG - SWAT
01 (Santana)	50,68	55,31	4,63	887	657	230	287	57
02 (São Pedro)	60,44	59,74	-0,70	938	599	339	334	-5
03 (Mata / Boa Vista)	34,47	41,81	7,34	933	581	352	361	9
04 (Olhos D'água)	12,70	20,10	7,40	934	717	217	322	105
05 (Adão)	62,82	71,08	8,26	943	568	375	400	25
06 (Engenho da Serra)	62,01	61,12	-0,89	1014	735	279	272	-7
07 (Paciência)	45,00	49,65	4,65	1014	661	353	340	-13
08 (Montante T. Carro)	60,87	76,44	15,57	951	641	310	321	11
09 (Jusante T. Carro)	47,84	63,32	15,48	908	636	272	275	3
10 (Catingueiro)	8,58	9,25	0,67	818	645	173	186	13
11 (Cachoeira/Pinheirinho)	54,65	63,25	8,60	921	645	276	282	6
12 (Pimenta)	11,27	16,39	5,12	901	790	111	114	3
13 (Laje)	15,00	13,62	-1,38	916	684	232	228	-4
14 (Desengano / Retiro)	66,80	67,05	0,25	944	704	240	241	1
15 (Araras / Peixes)	20,02	20,34	0,32	944	755	189	184	-5
16 (Prata / Estiva)	55,12	59,98	4,86	941	755	186	200	14
17 (Tomba Carro)	109,14	107,75	-1,39	988	640	348	346	-2
	777,42	856,20	78,78					

Onde: > Alt = Maior altitude; < Alt = Menor altitude; Amp = Amplitude;

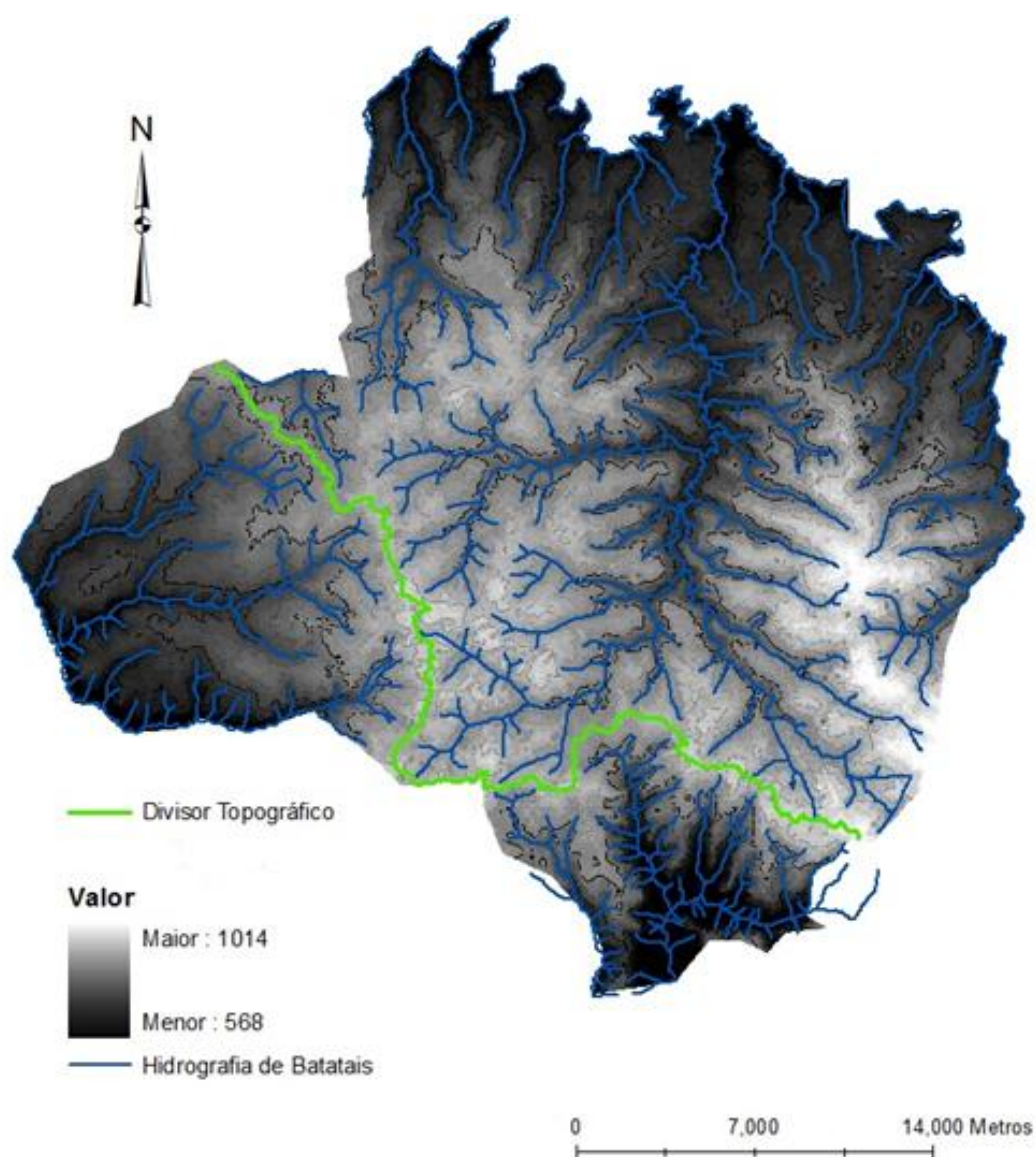


Figura 11. Rede de drenagem e modelo digital de elevação do terreno do município de Batatais, SP.

Na análise dos dados da morfometria obtidos no processamento efetuado no Programa SWAT (Figura 12) observa-se que foram alocados os principais compartimentos hidrológicos delineados pelo mapa da divisão dos compartimentos, segundo a classificação SIG do Município de Batatais, desenvolvidos por Zanata e Pissarra (2012) (Figura 8).

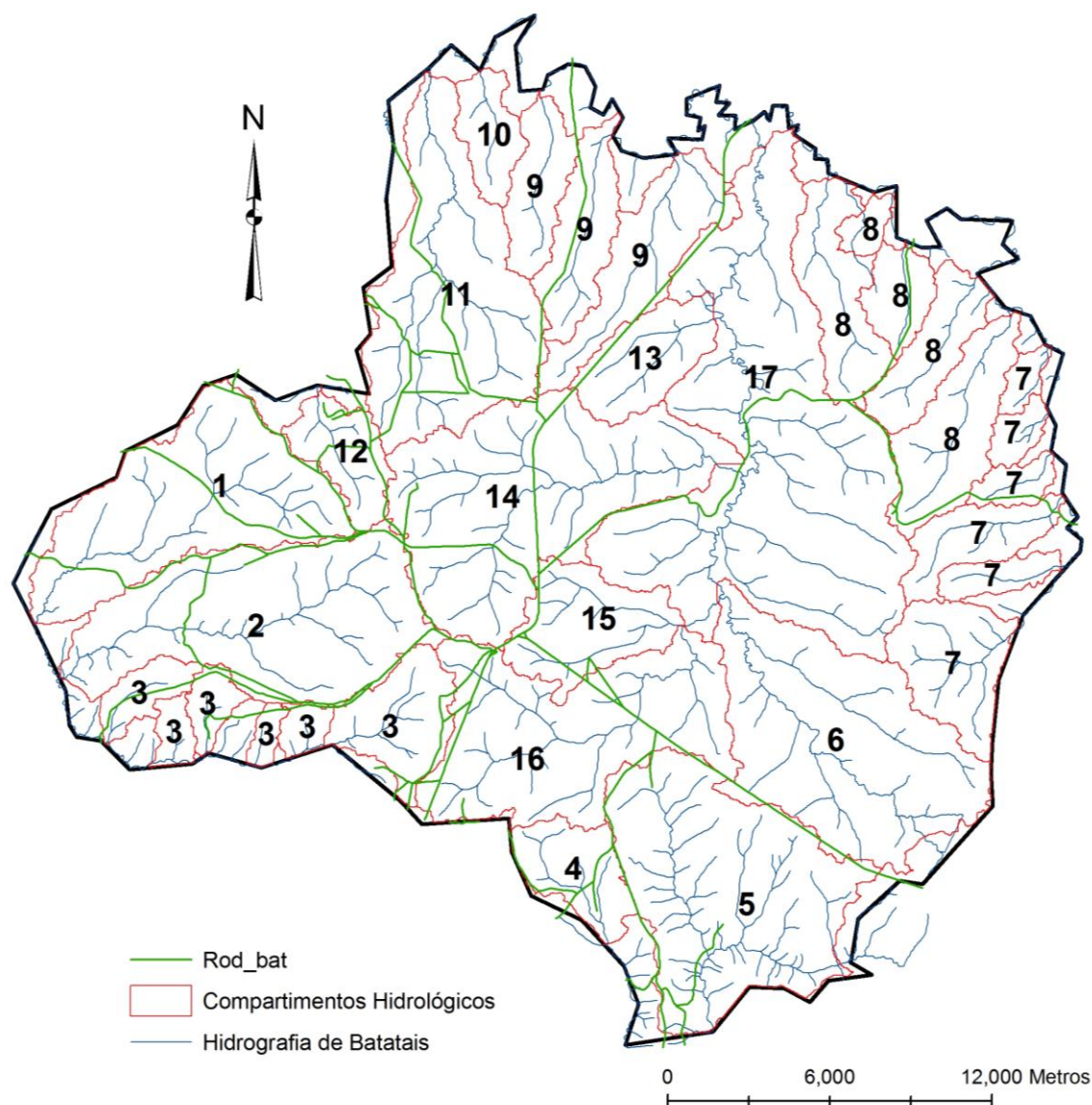


Figura 12. Compartimentos hidrológicos segundo a classificação SWAT do município de Batatais, SP.

Comparando as Figuras 8 e 12 denota-se que a compartimentação foi semelhante, isto é, a divisão hidrológica obtida na base cartográfica do IBGE e no modelo de elevação digital (DEM) do SWAT considerou o ribeirão Tomba Carro (17) como a principal microbacia hidrográfica do município de Batatais. Os cursos d'água desta e das outras sub-bacias que compõem a microbacia do Ribeirão Tomba Carro o definem como de quinta ordem de grandeza ou magnitude.

Pela classificação do SWAT (Figura 12) os compartimentos hidrológicos diferenciam-se da classificação do SIG (Figura 8), passando de 17 para 33 compartimentos. A classificação do SWAT alterou a numeração, mas não a subdivisão do complexo do ribeirão Tomba Carro. Os afluentes a jusante (9), a montante (8), o ribeirão da Paciência (7) e o ribeirão da Mata (3) foram subdivididos em sub-bacias.

As microbacias do córrego da Prata e da Estiva (16) e a do Córrego Desengano ou do Retiro (14) são as de quarta ordem de grandeza, com média de 6000 hectares cada, que compõem a quinta ordem do ribeirão Tomba Carro. Além dessas duas, existe uma terceira microbacia de quarta ordem de grandeza no município, a do ribeirão do Adão (5), que verte para o rio Pardo, possui a menor altitude (568m) e a maior amplitude altimétrica (Tabela 5). A maior altitude (1014m) está localizada entre os compartimentos do ribeirão do Engenho da Serra (6) e do ribeirão da Paciência (7).

A área urbana do município de Batatais está localizada no compartimento do córrego das Araras e dos Peixes (15) e os dois principais mananciais são os dos compartimentos da Prata e da Estiva (16) e do Desengano ou do Retiro (14), ambos de quarta ordem. No divisor topográfico entre esses dois mananciais localiza-se o aterro sanitário do município. Tanto o atual manancial (16) quanto o futuro manancial superficial (14) estão expostos a possível contaminação com os resíduos desse aterro.

Os compartimentos hidrológicos a Montante (8) e Jusante (9) do córrego Tomba Carro e dos Olhos D'água (4), mostram que o modelo SWAT não considera as áreas até as divisas do município, a jusante de cada microbacia delimitada. Para o cálculo dessas áreas, o modelo SWAT utiliza os dados obtidos pelas áreas das microbacias delimitadas pelo modelo, desconsiderando áreas secundárias entre uma bacia e outra e áreas entre bacias e divisas do município (Figura 13).

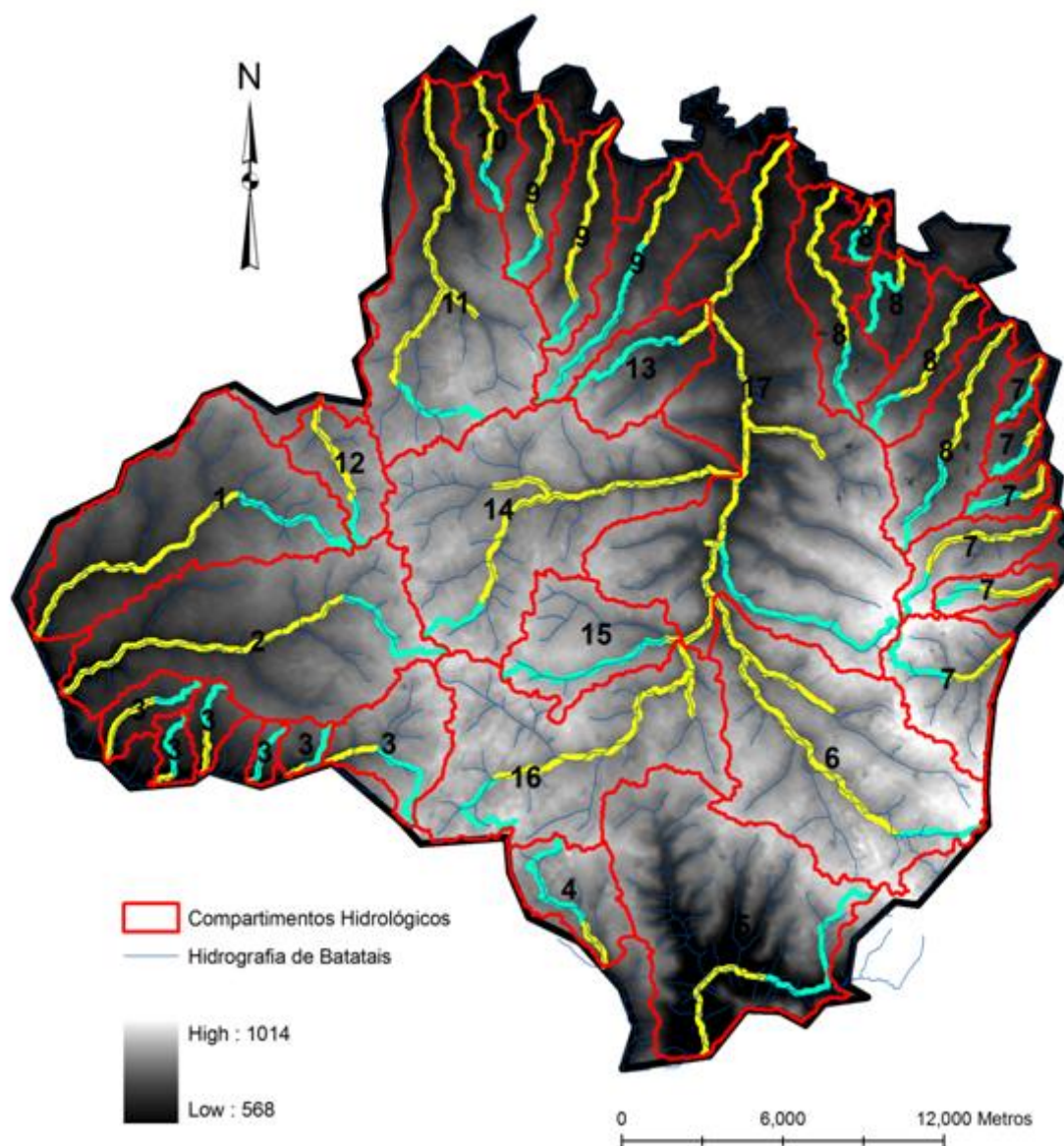


Figura 13. Compartimentos hidrológicos, *Longest path* (linha azul) e o fundo do vale (linha amarela) segundo a classificação SWAT do município de Batatais, SP.

O modelo SWAT é mais apropriado para indicar o maior comprimento do fundo do vale, denominado de *Longest path* e identificado pela linha azul da Figura 13. A linha amarela revela o coeficiente de manutenção (C_m) indicado pelo SWAT em função da elevação do terreno e não pela rede de drenagem.

O compartimento hidrológico do córrego do Desengano ou do Retiro (14) é o que obteve a menor diferença em valor absoluto de área (Tabela 5) e de amplitude altimétrica (Tabela 5). A Figura 14 mostra o compartimento 14 com o divisor topográfico destacado pela linha vermelha, o *Longest path* pela linha azul e o fundo do vale pela linha amarela. O coeficiente de manutenção destacado pela linha amarela é outro valor obtido pelo modelo SWAT, que para sua determinação considera o modelo digital de elevação do terreno e não a rede de drenagem.

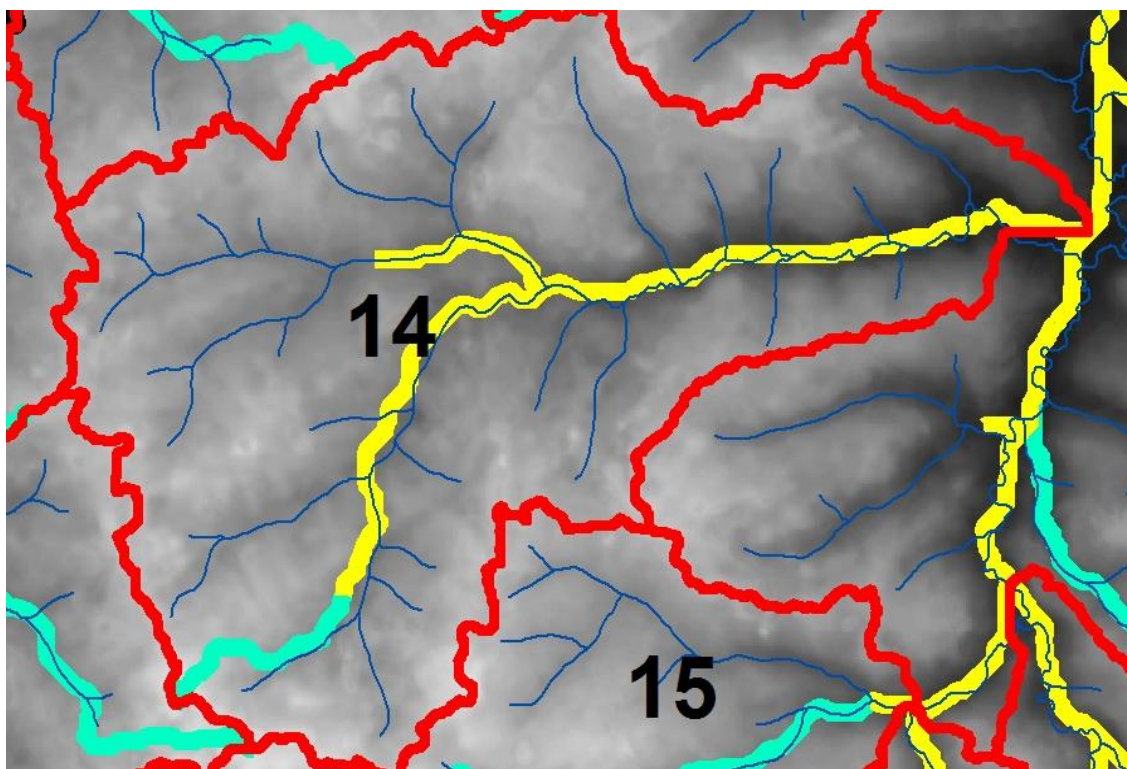


Figura 14. Compartimento hidrológico do córrego do Desengano ou do Retiro (14), com o *Longest path* (linha azul) e o coeficiente de manutenção (linha amarela) pelo modelo SWAT do município de Batatais, SP.

A maior diferença em área (Tabela 5) foi observada nos compartimentos a montante (8) e jusante (9) do ribeirão Tomba Carro. Para o cálculo dessas áreas, o modelo SWAT utiliza os dados obtidos pelas áreas das microbacias

delimitadas pelo modelo, desconsiderando áreas secundárias entre uma bacia e outra (Figura 15) e áreas entre bacias e divisas do município (Figura 16).

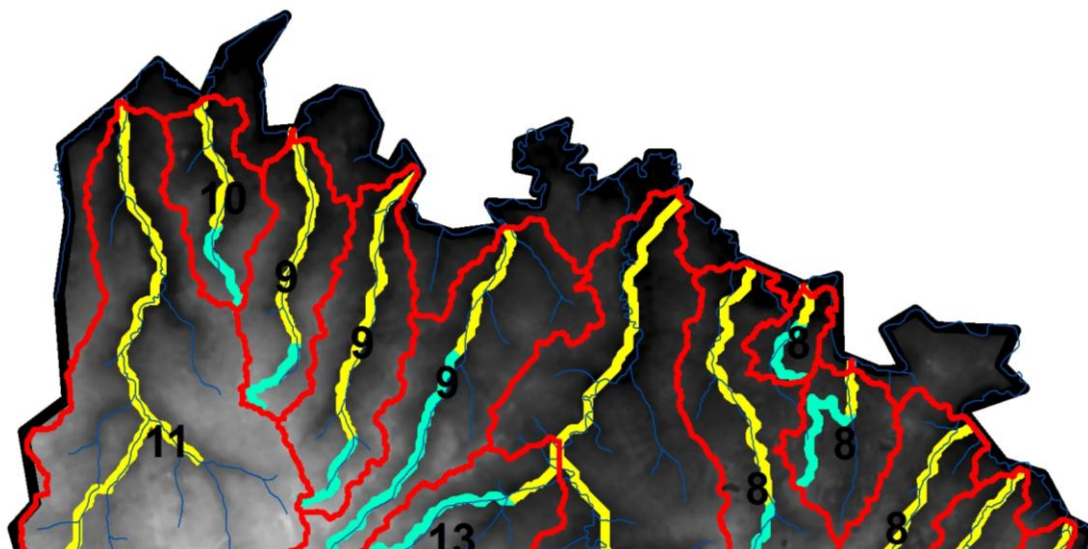


Figura 15. Compartimentos hidrológicos a Montante (8) e Jusante (9) do córrego Tomba Carro, mostrando os limites das microbacias (linhas vermelhas) definidos pelo modelo SWAT no município de Batatais, SP.

No caso dos dados obtidos pelo modelo SWAT (Figura 16), a microbacia do ribeirão Olhos D'água (4) obteve a maior diferença em amplitude (Tabela 5), pois o modelo SWAT identificou o ponto de exutório da microbacia dentro dos limites do município, sem considerar as divisas a jusante deste ponto, onde estão as menores altitudes da microbacia.

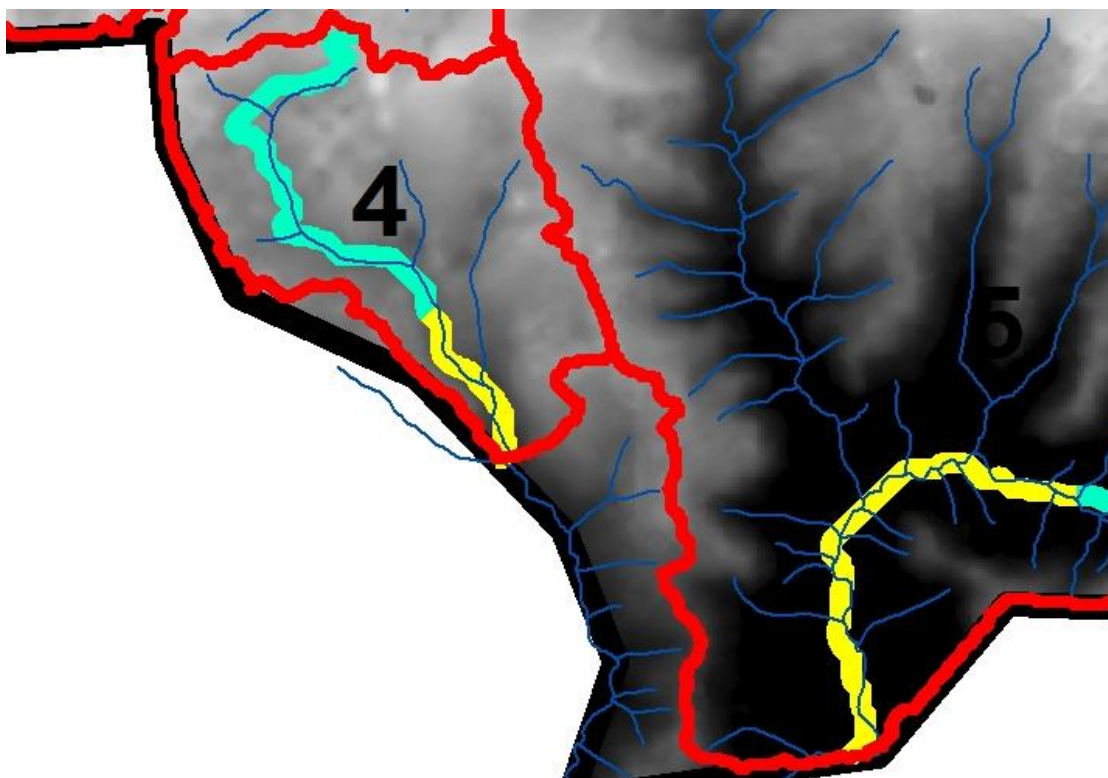


Figura 16. Compartimento hidrológico dos Olhos D'água (4), mostrando que o modelo SWAT do município de Batatais, SP, não considerou a divisa do município a jusante da microbacia delimitada.

4.2 Recurso Hídrico

Os dados da média, dos maiores e menores valores, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados coletados de água para o primeiro ano (2009/2010) de monitoramento constam das Tabelas 6 a 9 e Figuras 17 a 20 e para o segundo ano (2010/2011) de monitoramento constam nas Tabelas 10 a 13 e Figuras 21 a 24.

Os maiores coeficientes de variação e desvio padrão foram obtidos para o mês de junho na microbacia B14 (mata) nos dois anos de monitoramento. A microbacia B9 (Pinus) registrou as maiores temperaturas da água superficial nos meses de fevereiro e março de cada ano.

Os dados de T°C para o primeiro e o segundo ano (Tabelas 6 e 10; Figuras 17 e 21) separam as estações chuvosas e com altas temperaturas (de outubro a março de cada ano) das estações secas com baixas temperaturas (de abril a setembro). O mês mais frio é junho nos dois anos de monitoramento e os de maiores temperaturas são os de fevereiro (1º) e março (2º) de cada ano.

Os dados do pH tendem a ser maiores na microbacia B8 tanto para o 1º quanto para o 2º ano de coletas (Tabelas 7 e 11; Figuras 18 e 22). Para o 1º ano, o mês do menor valor médio aferido (agosto) é o de maiores DP e CV. Para o 1º ano, os meses de maiores valores (5,8) são os de novembro e dezembro na microbacia B8. Diferindo do 1º ano, para o 2º ano, o mês de menor valor médio (janeiro) e o mês de maior valor é outubro na microbacia Bp, que obtêm os maiores DP e CV.

Os dados de SDT (Tabela 8 e 12; Figura 19 e 23) e CE (Tabela 9 e 13; Figura 20 e 24) são discrepantes para a microbacia B8 em relação às demais. Os meses de maiores DP e CV são os que se destacam nos 2 anos de monitoramento, dezembro para o 1º ano e abril para o 2º, com maiores DP. Os dados do 1º ano de coleta atingiram o maior valor de SDT e CE.

Tabela 6. Temperaturas mensais dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacia	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	20,5	21,6	22,2	22,4	22,2	22,8	22,0	21,2	19,4	17,0	18,5	18,1
B3	20,1	22,0	21,7	21,7	21,6	22,9	22,0	21,5	19,8	18,1	18,9	18,0
B8	21,2	22,5	23,6	22,9	24,9	23,9	22,6	22,1	20,8	18,6	19,7	18,8
B9	20,3	22,1	22,7	21,8	24,0	25,1	22,0	21,9	20,8	19,2	19,8	18,9
B11	18,7	21,4	22,7	22,5	22,3	23,0	22,0	20,5	18,0	15,5	17,1	17,1
B14	18,3	21,5	23,5	20,6	22,3	23,1	21,0	20,0	17,8	14,8	16,5	15,9
Bp	20,5	21,9	22,6	22,9	22,8	22,8	22,5	22,2	21,4	19,8	20,3	19,8
Média	19,9	21,9	22,7	22,1	22,9	23,4	22,0	21,3	19,7	17,6	18,7	18,1
Maior	21,2	22,5	23,6	22,9	24,9	25,1	22,6	22,2	21,4	19,8	20,3	19,8
Menor	18,3	21,4	21,7	20,6	21,6	22,8	21,0	20,0	17,8	14,8	16,5	15,9
DP	1,0	0,4	0,7	0,8	1,2	0,9	0,5	0,8	1,4	1,9	1,4	1,3
CV	5,3	1,8	3,0	3,7	5,1	3,6	2,4	3,9	7,1	10,7	7,6	7,1

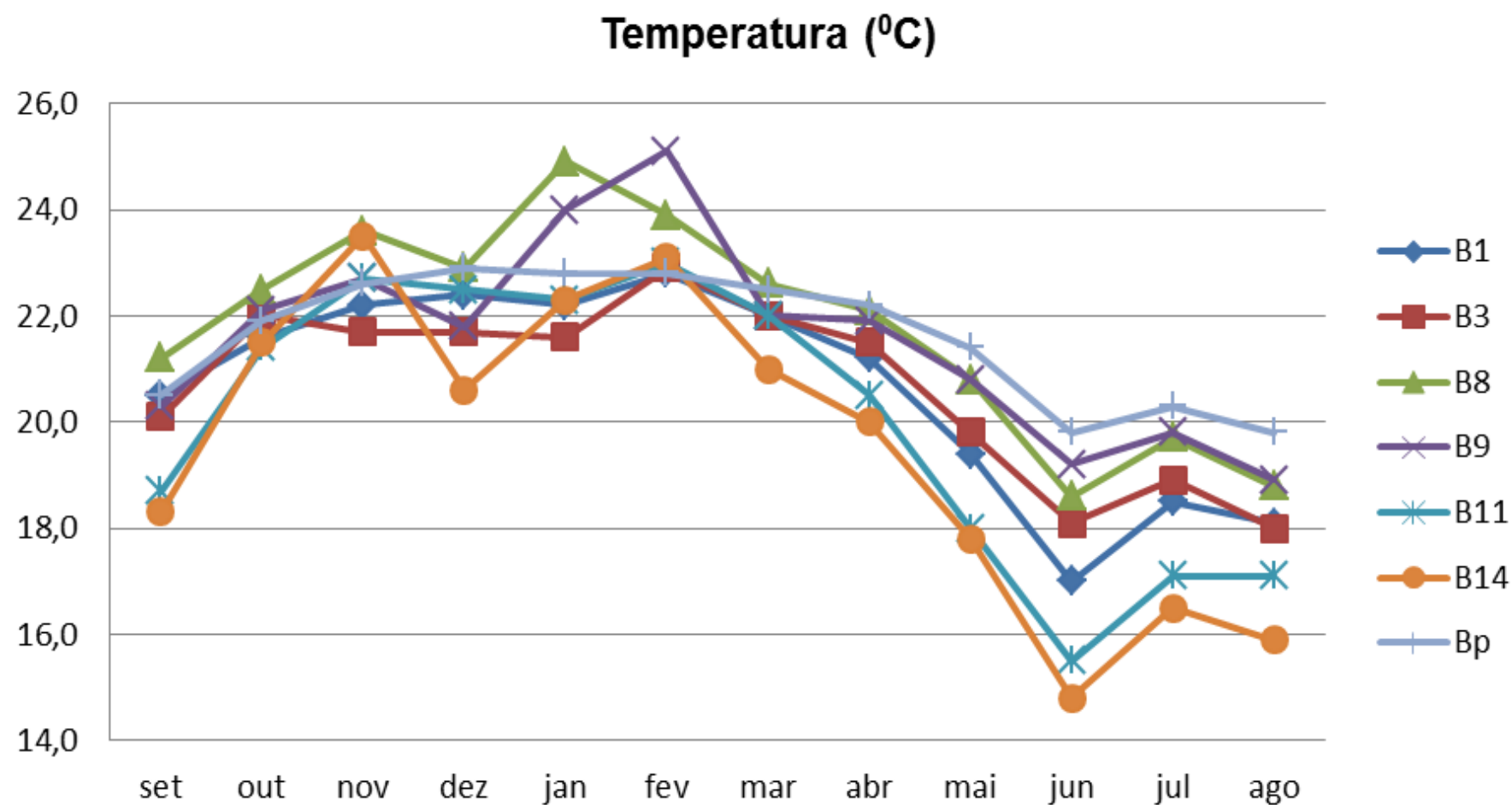


Figura 17. Temperaturas mensais dos anos 2009/2010 de microbasias do município de Batatais, SP.

Tabela 7. Ph mensal dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	5.17	4.88	5.06	5.63	5.12	4.99	5.09	4.96	4.81	5.07	4.90	4.56
B3	5.34	4.75	5.00	5.41	5.57	5.05	5.13	5.15	4.81	5.06	5.20	4.78
B8	5.49	5.16	5.81	5.80	5.25	5.25	5.06	5.64	4.75	5.26	5.20	4.77
B9	5.35	5.12	5.20	5.60	4.73	4.62	4.73	5.12	4.69	4.89	4.74	4.52
B11	5.35	5.09	5.43	5.45	5.12	5.05	4.97	5.39	5.30	5.40	5.61	5.09
B14	5.20	5.09	5.18	5.13	4.93	4.85	5.06	5.33	5.46	5.54	5.07	5.36
Bp	4.98	5.42	5.12	5.31	4.93	5.54	5.16	4.93	5.04	5.24	5.01	5.00
Média	5,27	5,07	5,26	5,48	5,09	5,05	5,03	5,22	4,98	5,21	5,10	4,87
Maior	5,49	5,42	5,81	5,80	5,57	5,54	5,16	5,64	5,46	5,54	5,61	5,36
Menor	4,98	4,75	5,00	5,13	4,73	4,62	4,73	4,93	4,69	4,89	4,74	4,52
DP	0.17	0.21	0.28	0.22	0.27	0.29	0.14	0.25	0.30	0.22	0.28	0.30
CV	3.15	4.20	5.32	4.06	5.31	5.77	2.88	4.85	5.97	4.24	5.42	6.17

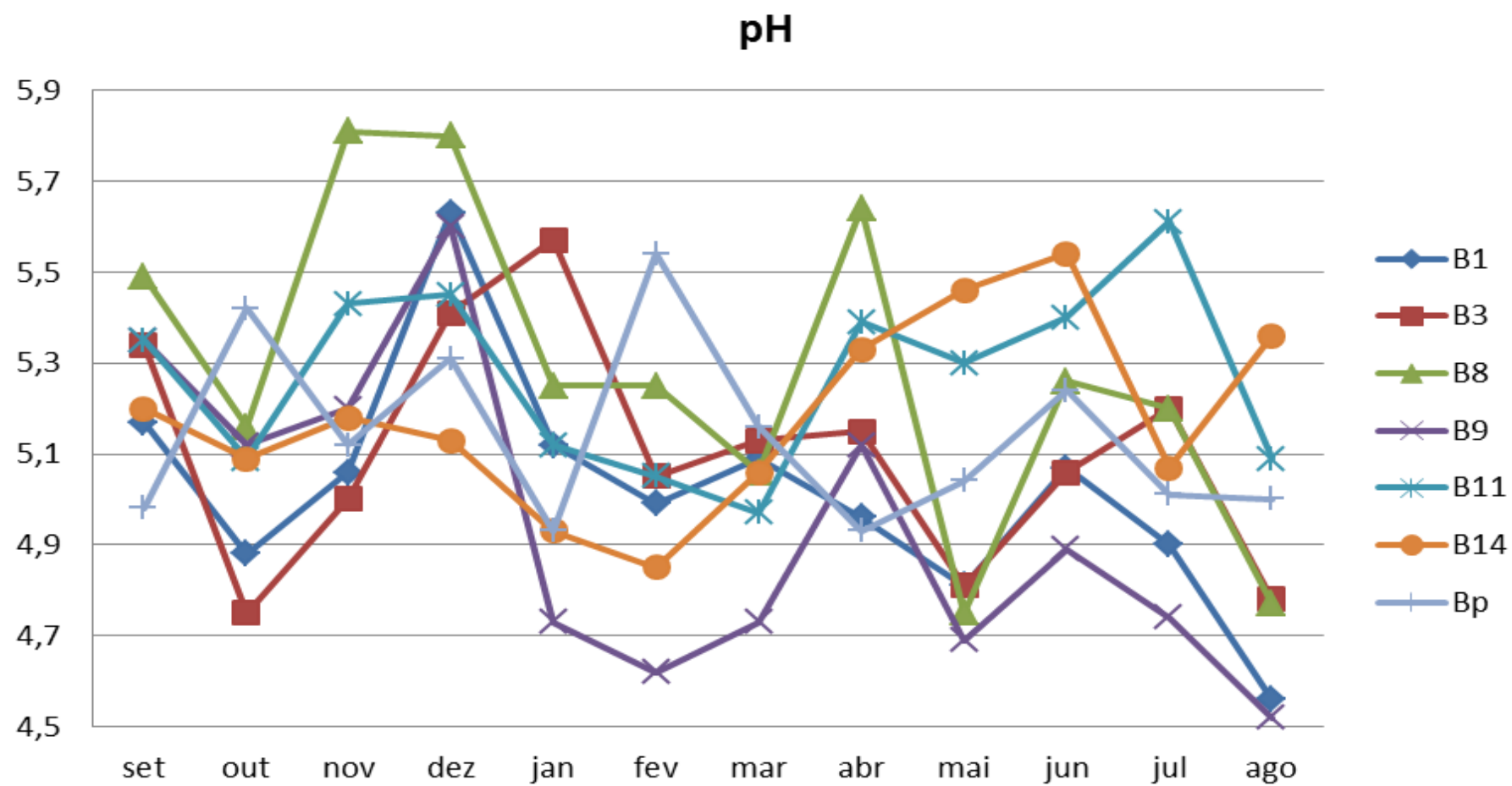


Figura 18. Ph mensal dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Tabela 8. Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
B3	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
B8	2.0	4.0	6.0	17.0	12.0	10.0	6.0	8.0	4.0	4.0	3.0	3.0
B9	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0
B11	0.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B14	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0
Bp	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Média	0.4	1.0	1.9	2.9	2.1	1.9	1.6	1.4	0.7	0.6	0.9	0.9
Maior	2.0	4.0	6.0	17.0	12.0	10.0	6.0	8.0	4.0	4.0	3.0	3.0
Menor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DP	0,8	1,4	2,0	6,3	4,4	3,6	2,0	2,9	1,5	1,5	1,1	1,2
CV	183,6	141,4	105,1	219,9	205,9	195,2	126,5	205,5	209,4	264,6	124,7	141,7

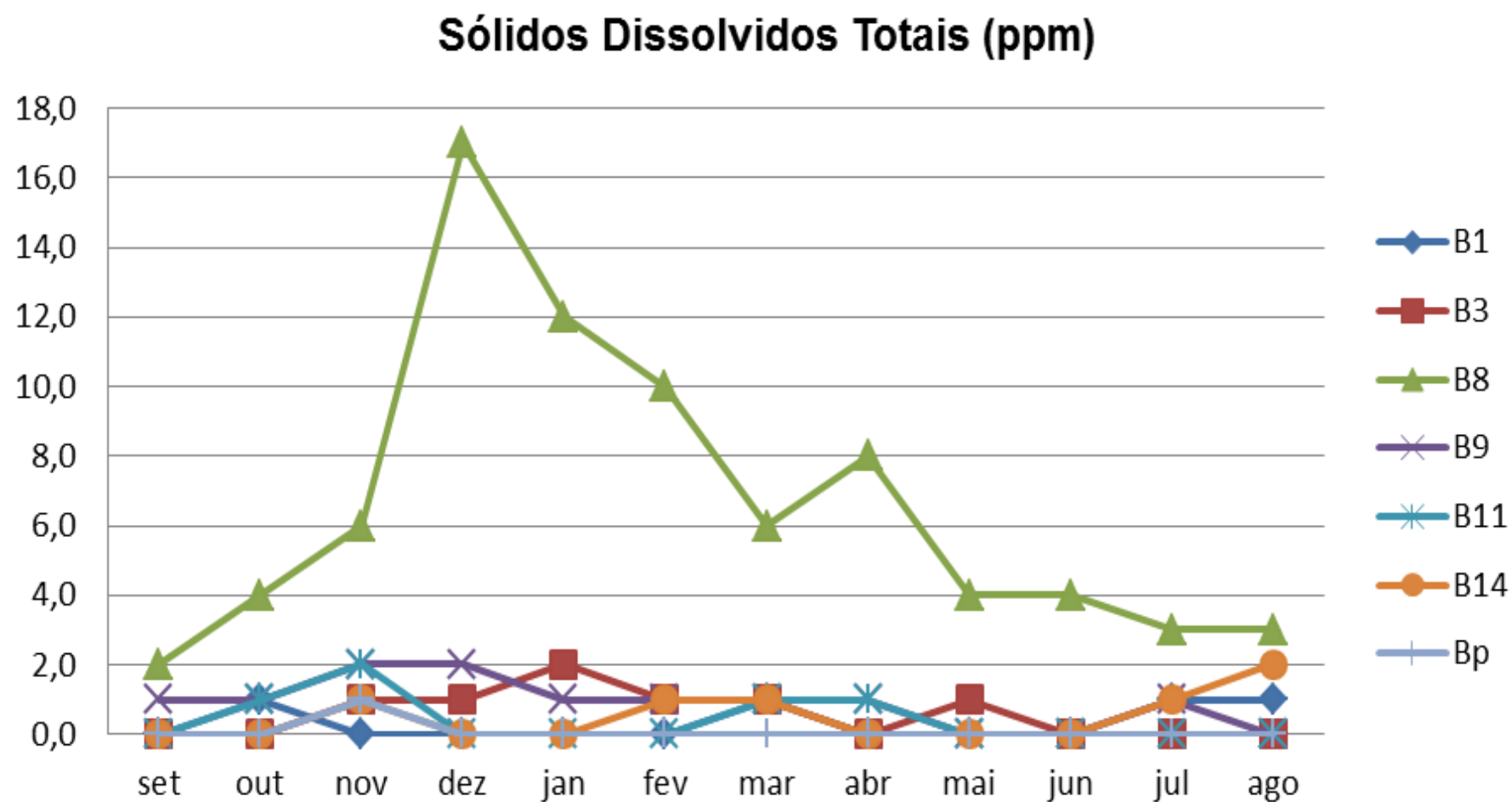


Figura 19. Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Tabela 9. Condutividade elétrica mensal dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	0.0	1.0	2.0	2.0
B3	1.0	1.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0
B8	5.0	9.0	13.0	34.0	24.0	21.0	12.0	17.0	8.0	9.0	7.0	6.0
B9	2.0	3.0	4.0	4.0	2.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0
B11	1.0	2.0	5.0	0.0	0.0	1.0	2.0	2.0	0.0	0.0	1.0	1.0
B14	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	3.0	4.0
Bp	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
Média	1.7	2.7	4.1	6.1	4.7	4.4	3.3	3.4	1.7	1.9	2.4	2.3
Maior	5.0	9.0	13.0	34.0	24.0	21.0	12.0	17.0	8.0	9.0	7.0	6.0
Menor	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
DP	1,5	2,9	4,1	12,3	8,6	7,3	3,9	6,0	2,9	3,2	2,1	2,0
CV	87,3	105,7	99,9	201,0	182,4	165,9	117,5	175,7	167,4	171,5	88,5	86,5

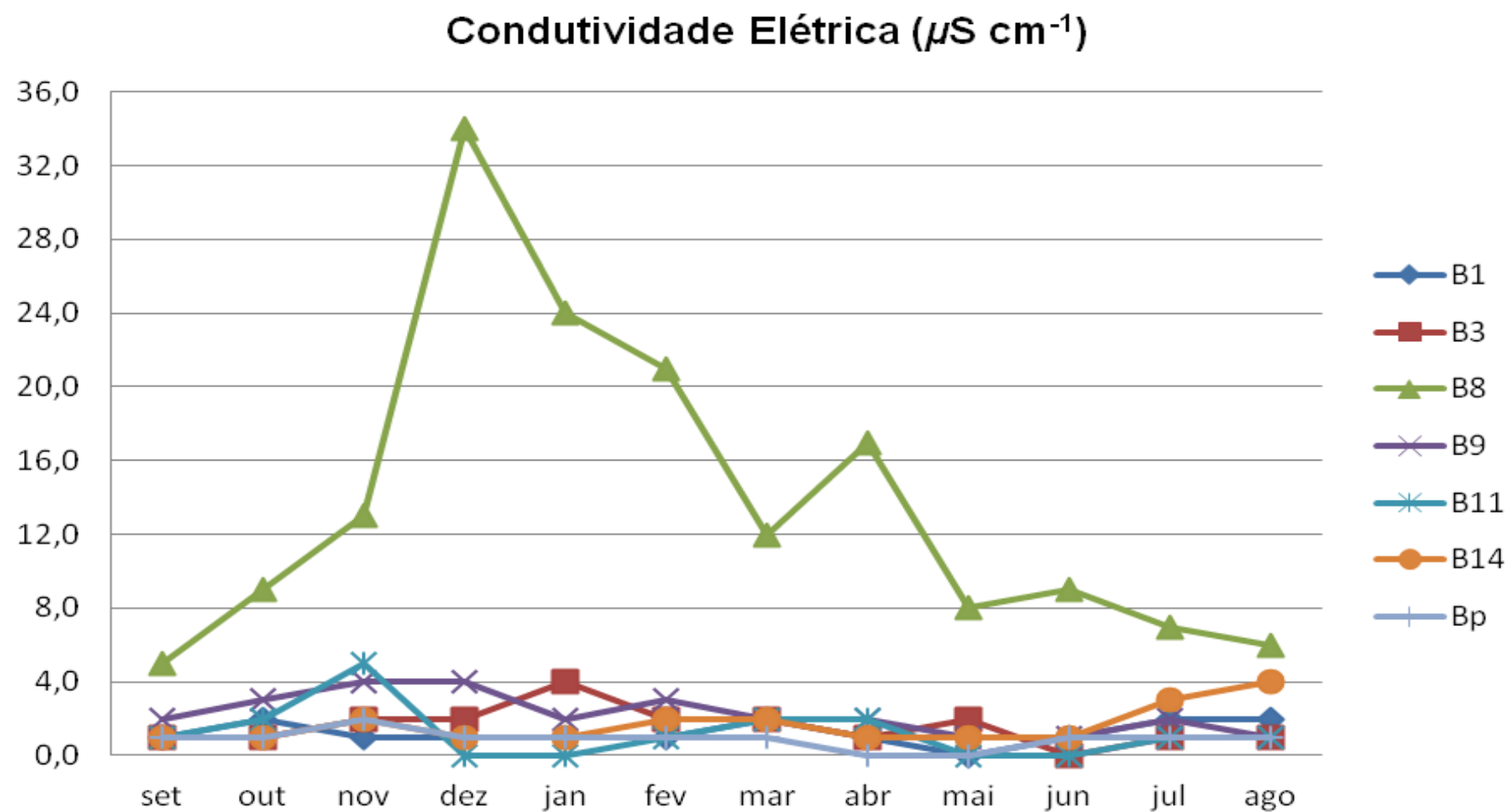


Figura 20. Condutividade elétrica mensal dos anos 2009/2010 de microbacias do município de Batatais, SP.

Tabela 10. Temperaturas mensais dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	21.3	22.2	22.4	22.4	22.2	22.1	22.3	20.7	18.8	18.2	18.6	19.5
B3	20.7	21.5	22.4	22.6	22.4	22.1	21.9	20.7	19.0	18.9	18.5	18.7
B8	21.9	21.1	22.5	22.3	22.6	22.1	23.0	20.5	18.7	17.5	18.9	19.6
B9	21.5	20.4	22.7	21.7	22.4	22.3	23.2	21.4	19.1	18.9	19.3	19.3
B11	20.1	20.2	21.9	21.8	22.4	22.2	22.1	19.4	17.8	16.7	17.7	18.4
B14	19.1	20.3	21.2	21.8	21.9	21.5	21.1	18.5	16.4	16.0	16.5	16.6
Bp	21.4	21.0	22.3	22.4	22.6	22.5	22.5	22.1	21.3	21.0	20.7	20.8
Média	20.9	21.0	22.2	22.1	22.4	22.1	22.3	20.5	18.7	18.2	18.6	19.0
Maior	21.9	22.2	22.7	22.6	22.6	22.5	23.2	22.1	21.3	21.0	20.7	20.8
Menor	19.1	20.2	21.2	21.7	21.9	21.5	21.1	18.5	16.4	16.0	16.5	16.6
DP	1,0	0,7	0,5	0,4	0,2	0,3	0,7	1,2	1,5	1,7	1,3	1,3
CV	4,7	3,5	2,3	1,6	1,1	1,4	3,2	5,9	7,9	9,1	7,0	6,9

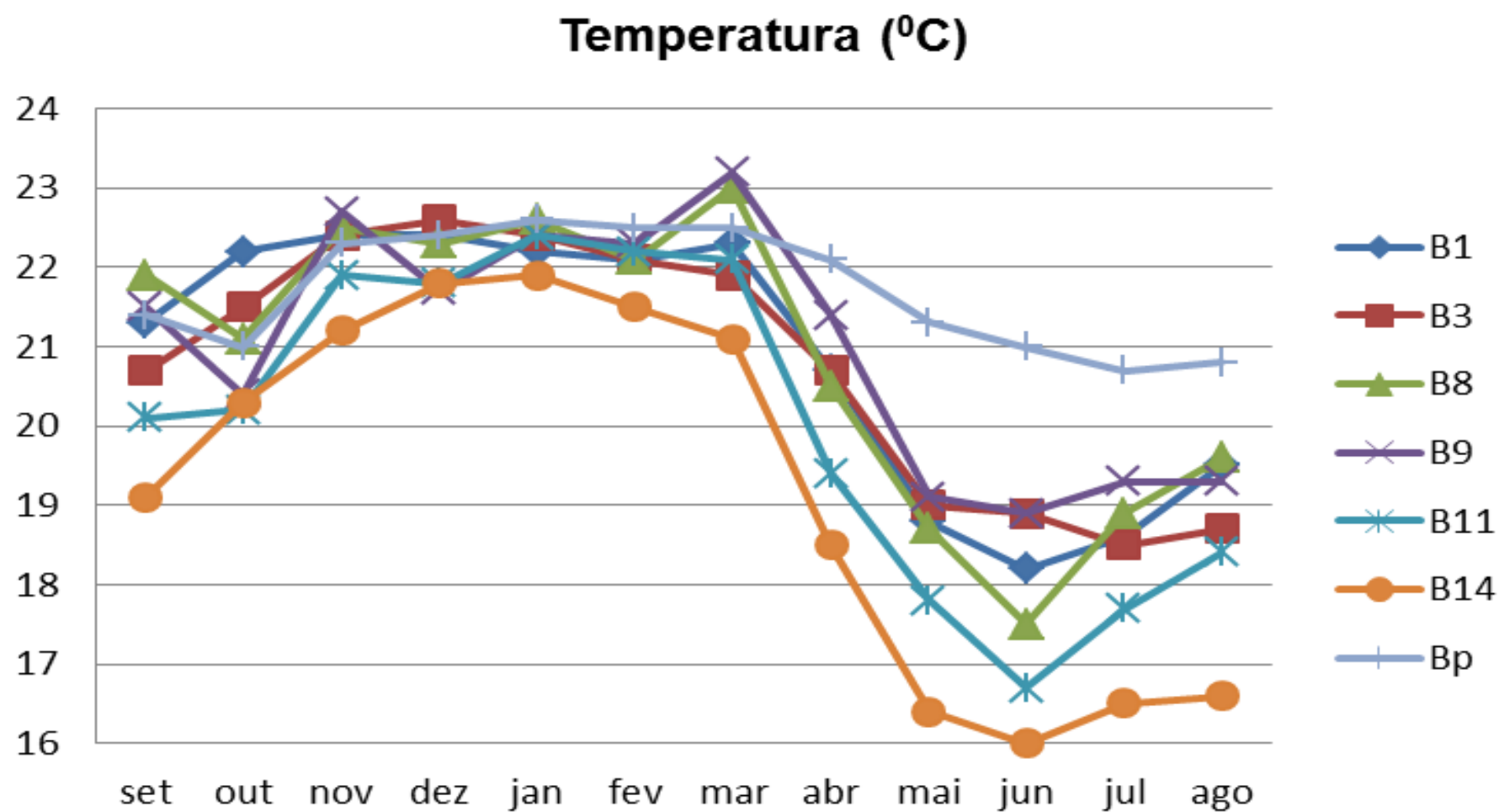


Figura 21. Temperaturas mensais dos anos 2010/2011 de microbacias do Município de Batatais, SP.

Tabela 11. Ph mensal dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	4.88	5.11	5.08	4.94	4.71	4.96	4.99	5.05	5.19	4.94	5.08	4.97
B3	4.86	5.51	5.25	5.06	4.64	4.76	5.11	5.28	5.01	5.07	5.06	5.09
B8	5.14	5.43	5.33	5.38	5.18	4.96	5.29	5.48	5.32	5.75	5.12	4.99
B9	4.95	4.67	4.70	4.80	4.66	4.80	5.17	5.15	4.78	5.27	4.74	4.83
B11	5.19	5.34	5.14	5.41	5.28	5.40	5.33	5.24	5.30	5.29	5.47	5.44
B14	5.10	5.41	5.24	5.25	5.37	5.45	5.13	5.46	5.31	5.35	5.28	5.22
Bp	5.18	5.71	4.87	5.28	5.12	5.23	5.21	5.21	5.18	5.15	5.05	4.87
Média	5,04	5,31	5,09	5,16	4,99	5,08	5,18	5,27	5,16	5,26	5,11	5,06
Maior	5,19	5,71	5,33	5,41	5,37	5,45	5,33	5,48	5,32	5,75	5,47	5,44
Menor	4,86	4,67	4,70	4,80	4,64	4,76	4,99	5,05	4,78	4,94	4,74	4,83
DP	0.14	0.34	0.23	0.23	0.31	0.28	0.11	0.16	0.20	0.26	0.22	0.21
CV	2.82	6.31	4.46	4.49	6.29	5.52	2.22	2.98	3.84	4.91	4.39	4.22

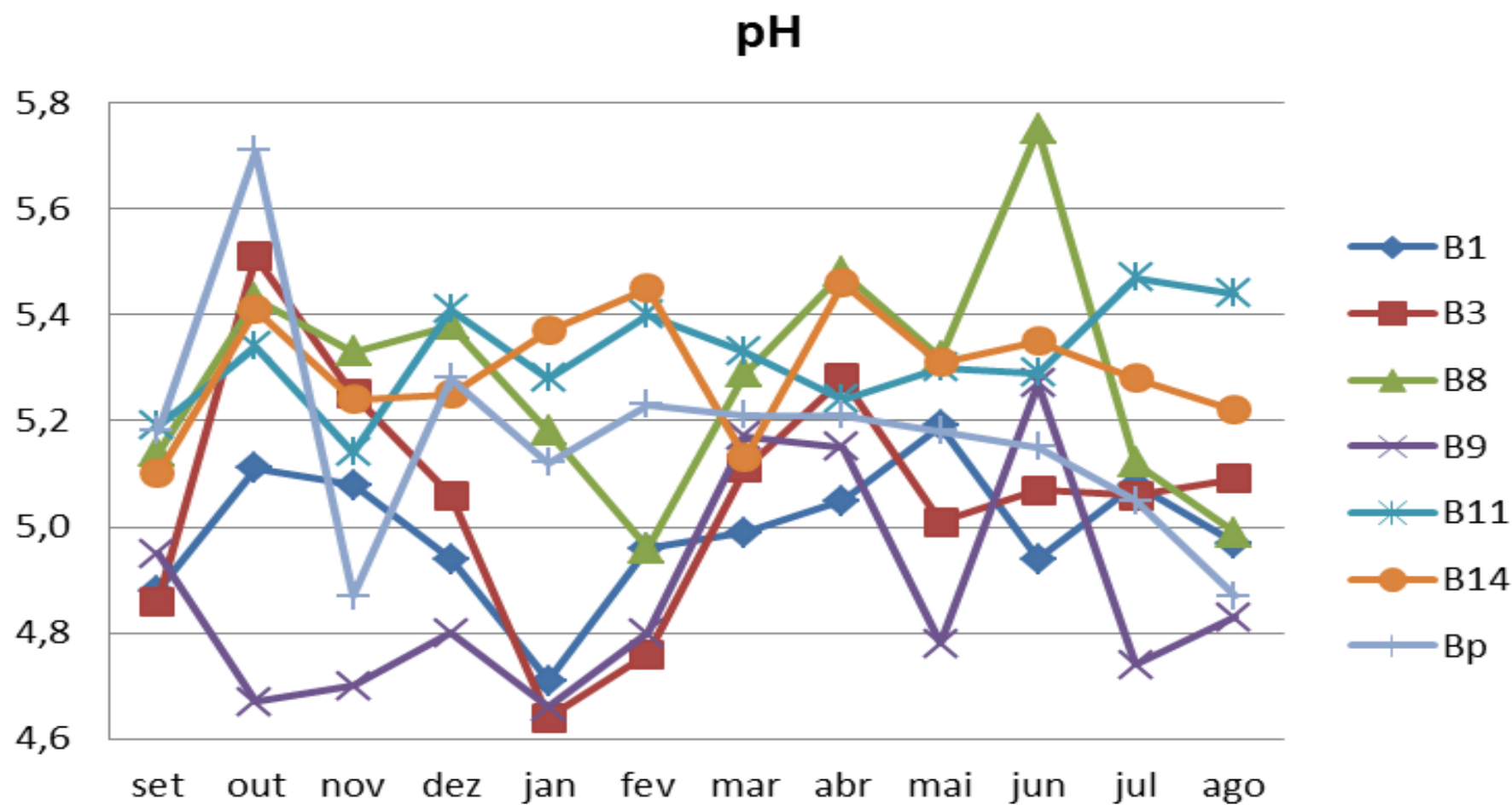


Figura 22. Ph mensal dos anos 2010/2011 de microbasias do município de Batatais, SP.

Tabela 12. Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	2.0	2.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B3	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
B8	4.0	2.0	2.0	4.0	3.0	3.0	7.0	13.0	7.0	5.0	6.0	4.0
B9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
B11	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B14	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bp	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Média	1.7	1.6	0.9	1.3	0.9	0.7	1.3	2.0	1.1	1.0	1.0	0.7
Maior	4.0	2.0	2.0	4.0	3.0	3.0	7.0	13.0	7.0	5.0	6.0	4.0
Menor	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DP	1,3	0,5	0,9	1,4	1,1	1,1	2,6	4,9	2,6	1,8	2,2	1,5
CV	73,1	34,0	105,0	107,3	124,7	155,8	204,4	243,2	228,3	182,6	223,6	209,4

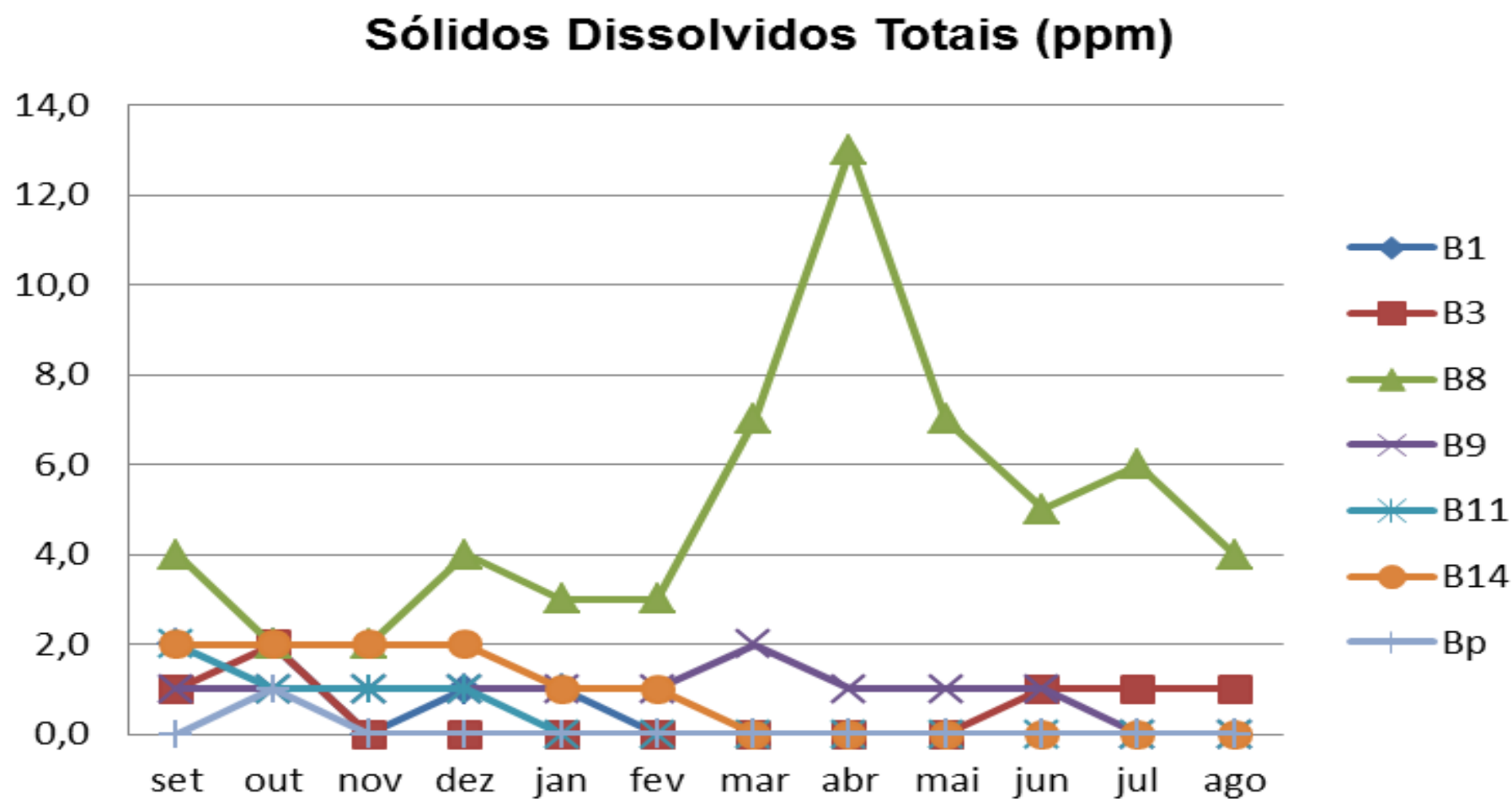


Figura 23. Sólidos dissolvidos totais mensais dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.

Tabela 13. Condutividade elétrica mensal dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	4.0	5.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
B3	2.0	4.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0
B8	8.0	4.0	4.0	8.0	5.0	7.0	14.0	27.0	15.0	10.0	13.0	9.0
B9	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
B11	4.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0
B14	4.0	5.0	2.0	5.0	2.0	2.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Bp	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0
Média	3.6	3.6	1.7	3.0	2.0	2.1	3.3	4.9	3.1	2.4	3.0	2.3
Maior	8.0	5.0	4.0	8.0	5.0	7.0	14.0	27.0	15.0	10.0	13.0	9.0
Menor	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0
DP	2,3	1,3	1,3	2,6	1,4	2,2	5,0	9,8	5,2	3,4	4,4	3,0
CV	64,4	35,6	73,1	86,1	70,7	102,3	151,9	201,2	166,8	140,4	147,8	130,6

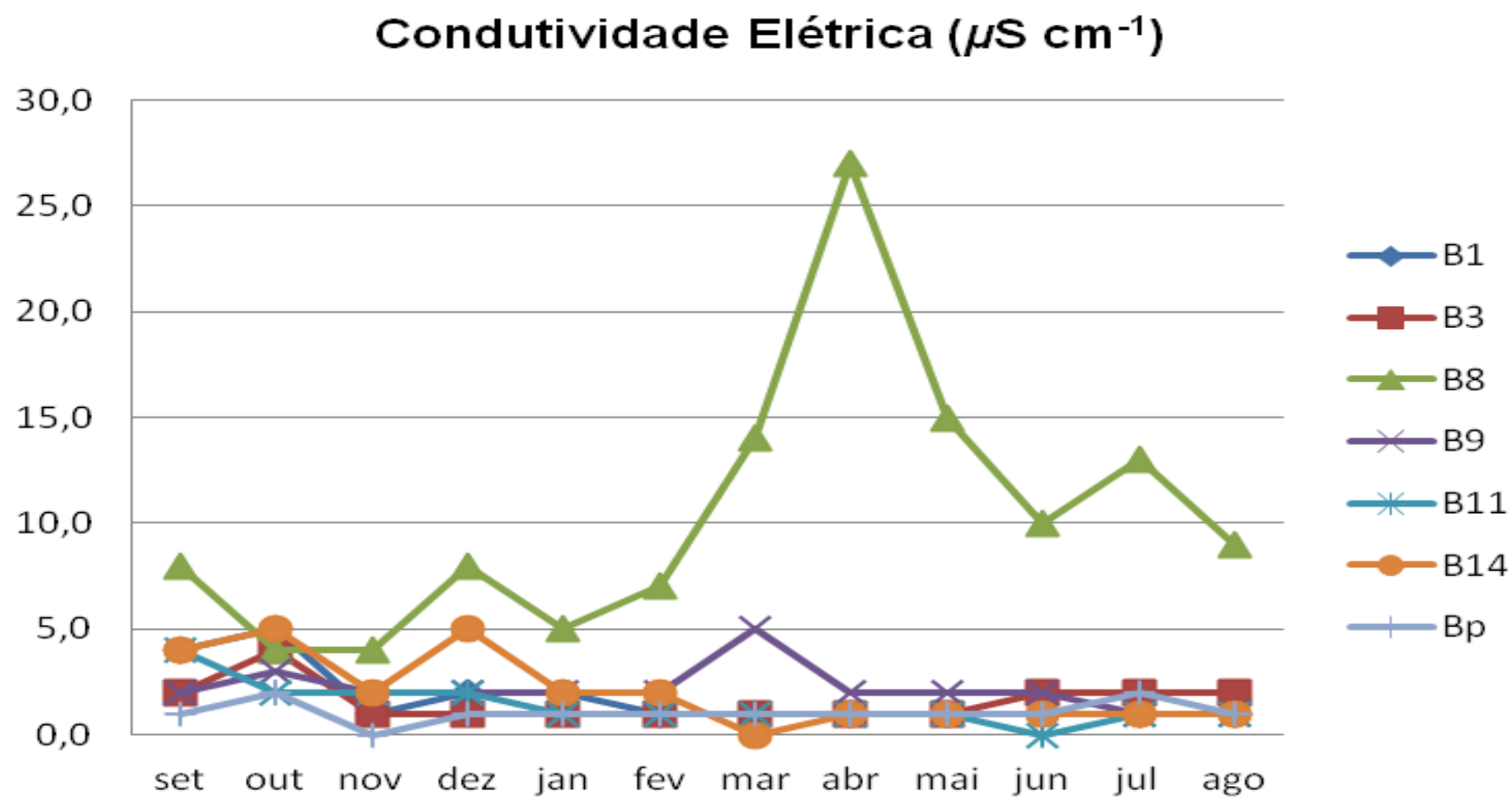


Figura 24. Condutividade elétrica mensal dos anos 2010/2011 de microbacias do município de Batatais, SP.

Os dados de monitoramento mostram estreita relação entre as variáveis SDT e CE, com maior evidencia em relação ao recurso hídrico da microbacia B8, nos meses de dezembro de 2009 e abril de 2011.

Os recipientes de coleta em dezembro de 2009 mostram que as microbacias B8 e B9 apresentavam sólidos em suspensão (Figura 25). A água tinha mais partículas sólidas que a de outras nascentes. No recurso hídrico formam-se flocculações de partículas de solo alaranjado na água.



Figura 25. Recipientes de coleta de água, na sequência B1, B3, B8, B9, B11, B14 e Bp respectivamente da esquerda para a direita, em dezembro de 2009 no município de Batatais, SP.

A documentação fotográfica e as anotações de campo realizadas em dezembro de 2009, mostram que naquela coleta houve a queima da lavoura de cana de açúcar a ser colhida na microbacia B8.

A área encharcada da nascente da microbacia B8 está desprovida de vegetação natural arbórea, possui plantios de mudas nativas, cultivo de cana de açúcar e carreador interno de circulação da fazenda.

Em abril de 2011 o uso de herbicida para controle da braquiária ao redor da nascente principal (APP) desta microbacia B8 (Figuras 26, 27 e 28), em área de adequação da mata ciliar (APP) daquela nascente foi registrada.



Figura 26. Aspecto da mata ciliar da nascente principal da microbacia B8 em abril de 2011 no município de Batatais, SP.



Figura 27. Aspecto do capim braquiária (*Brachiaria* spp) dessecado na área de preservação permanente (APP) da nascente principal da microbacia B8, em abril de 2011, no município de Batatais, SP.



Figura 28. Aspecto da água da nascente principal da microbacia B8 em abril de 2011 no município de Batatais, SP.

Durante os meses de coleta houve ciclos distintos em relação à quantidade de água superficial da nascente no momento da coleta. Em outubro, novembro e dezembro de 2010 os pontos de coleta estavam com água parada, chegando a secar em algumas microbacias.

A maior chuva dos últimos 70 anos em São Paulo nas águas de 2009/2010 foi divulgada. A chuva catastrófica na região serrana do Rio de Janeiro ocorreu no dia 24 de janeiro de 2011 (Figura 29). As grandes precipitações ocorridas em dezembro de 2009 e abril de 2011, somado aos resíduos da lavoura de cana de açúcar (queima, correção, fertilização e controle do capim) provocaram alteração no recurso hídrico da microbacia B8.

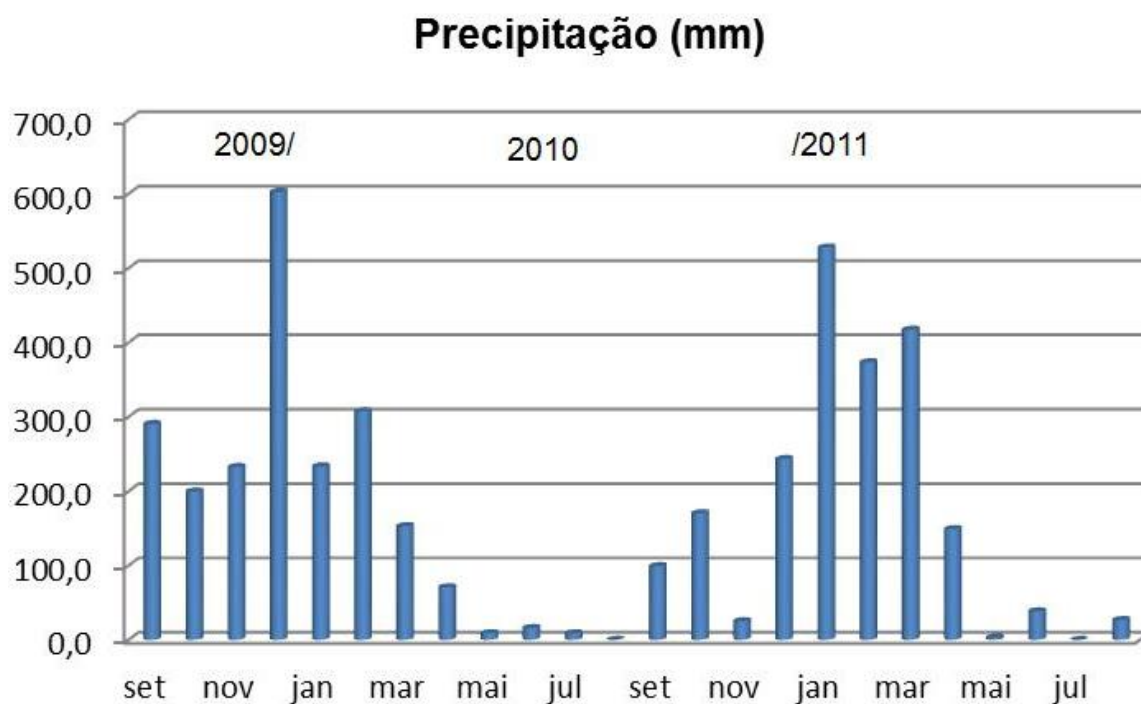


Figura 29. Precipitação mensal em milímetros (mm) dos anos 2009/2011 no município de Batatais, SP.

Apesar de chuva mais intensa no início de 2011, não houve tempo de infiltração suficiente para reabastecer o lençol freático e as nascentes diminuíram sua produção de água visivelmente.

Ao comparar a temperatura da água com as temperaturas máximas, médias e mínimas do ar registradas em cada dia de coleta (Tabelas 14 e 15) observamos que a sazonalidade da temperatura da água também é acompanhada pela variação anual da temperatura do ar (Figuras 30, 31 e 32). Ao longo do ano e dos períodos de chuva (verão) e seca (inverno) a variação da temperatura do ar também influenciaram a temperatura da água e vice-versa.

Tabela 14. Temperaturas da água dos pontos de coletas mensais dos anos 2009/2010 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	20.5	21.6	22.2	22.4	22.2	22.8	22.0	21.2	19.4	17.0	18.5	18.1
B3	20.1	22.0	21.7	21.7	21.6	22.9	22.0	21.5	19.8	18.1	18.9	18.0
B8	21.2	22.5	23.6	22.9	24.9	23.9	22.6	22.1	20.8	18.6	19.7	18.8
B9	20.3	22.1	22.7	21.8	24.0	25.1	22.0	21.9	20.8	19.2	19.8	18.9
B11	18.7	21.4	22.7	22.5	22.3	23.0	22.0	20.5	18.0	15.5	17.1	17.1
B14	18.3	21.5	23.5	20.6	22.3	23.1	21.0	20.0	17.8	14.8	16.5	15.9
Bp	20.5	21.9	22.6	22.9	22.8	22.8	22.5	22.2	21.4	19.8	20.3	19.8
Ar Min	14.0	19.0	21.0	19.0	20.0	20.0	20.0	23.0	15.0	10.0	12.0	11.0
Ar Max	37.0	29.0	36.0	32.0	38.0	36.0	30.0	30.0	26.0	30.0	28.0	36.0
Ar Med	25.5	24.0	28.5	25.5	29.0	28.0	25.0	26.5	20.5	20.0	20.0	23.5

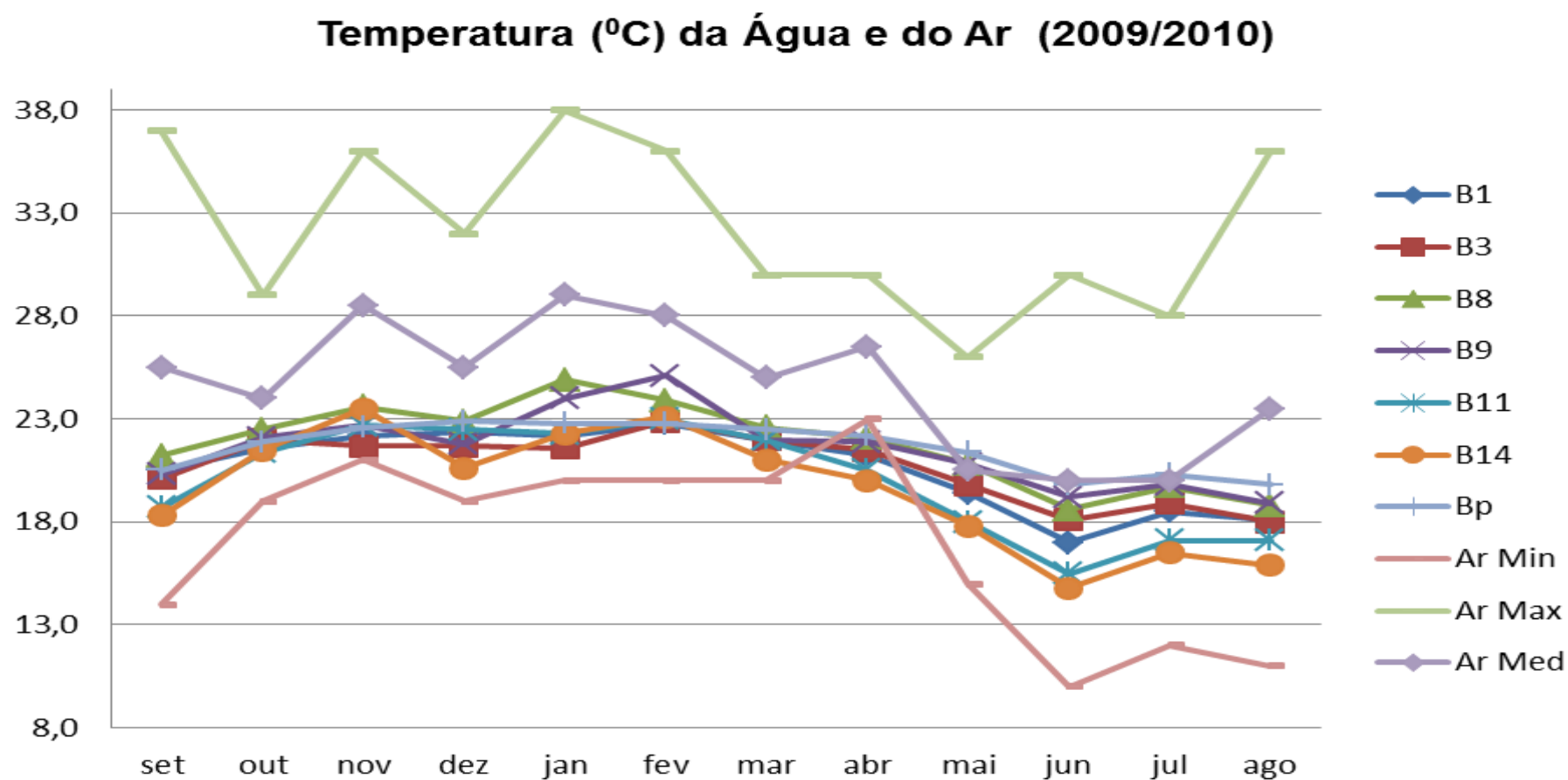


Figura 30. Temperaturas da água mensais dos anos 2009/20120 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.

Tabela 15. Temperaturas da água dos pontos de coletas mensais dos anos 2010/2011 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.

Microbacias	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
B1	21.3	22.2	22.4	22.4	22.2	22.1	22.3	20.7	18.8	18.2	18.6	19.5
B3	20.7	21.5	22.4	22.6	22.4	22.1	21.9	20.7	19.0	18.9	18.5	18.7
B8	21.9	21.1	22.5	22.3	22.6	22.1	23.0	20.5	18.7	17.5	18.9	19.6
B9	21.5	20.4	22.7	21.7	22.4	22.3	23.2	21.4	19.1	18.9	19.3	19.3
B11	20.1	20.2	21.9	21.8	22.4	22.2	22.1	19.4	17.8	16.7	17.7	18.4
B14	19.1	20.3	21.2	21.8	21.9	21.5	21.1	18.5	16.4	16.0	16.5	16.6
Bp	21.4	21.0	22.3	22.4	22.6	22.5	22.5	22.1	21.3	21.0	20.7	20.8
Ar Min	18.00	15.00	20.00	17.00	20.00	20.00	20.00	11.00	10.00	11.00	13.00	11.00
Ar Max	33.00	30.00	38.00	36.00	33.00	34.00	30.00	29.00	26.00	26.00	29.00	30.00
Ar Med	25.50	22.50	29.00	26.50	26.50	27.00	25.00	20.00	18.00	18.50	21.00	20.50

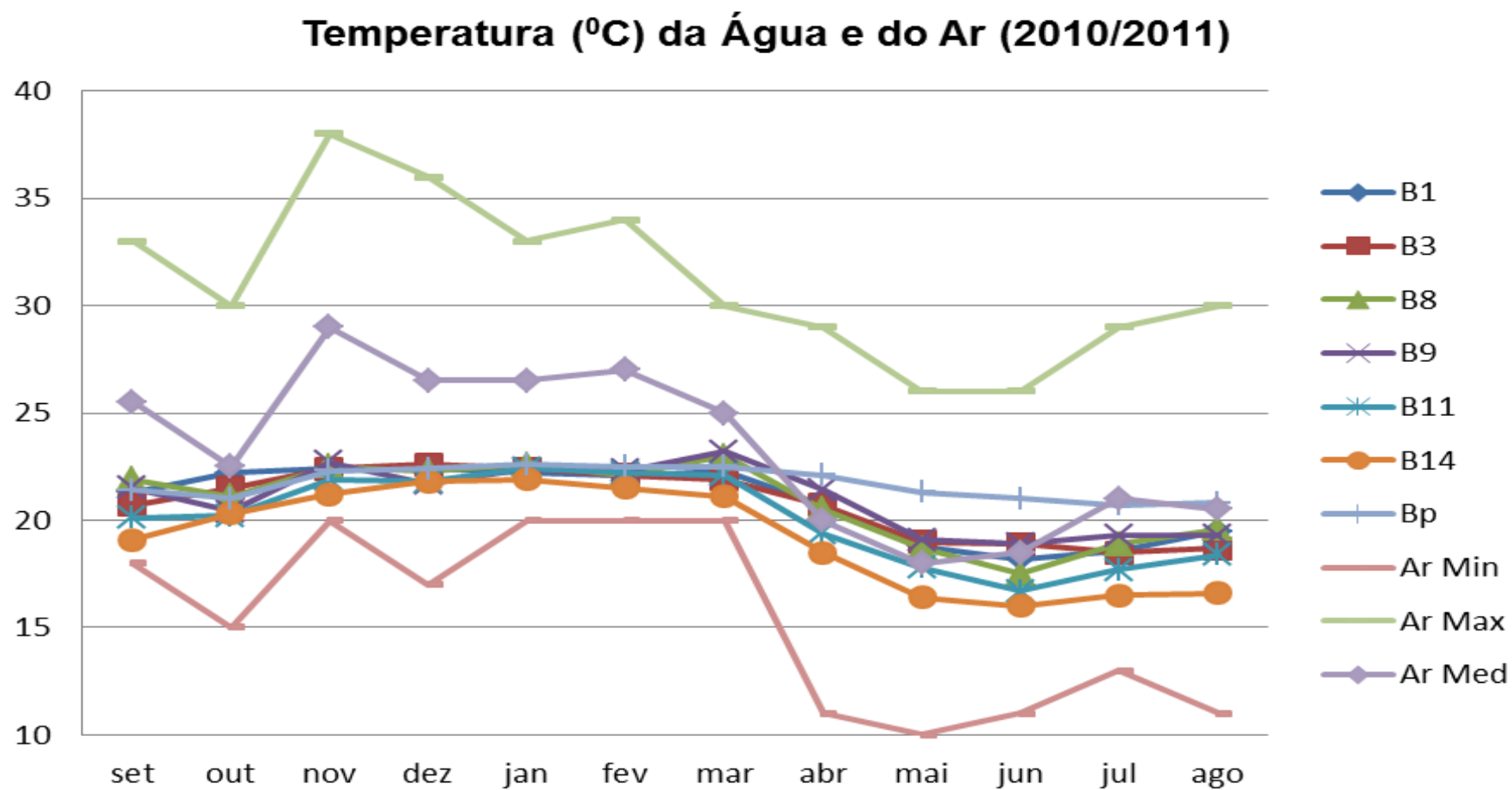


Figura 31. Temperaturas da água mensais dos anos 2010/2011 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.

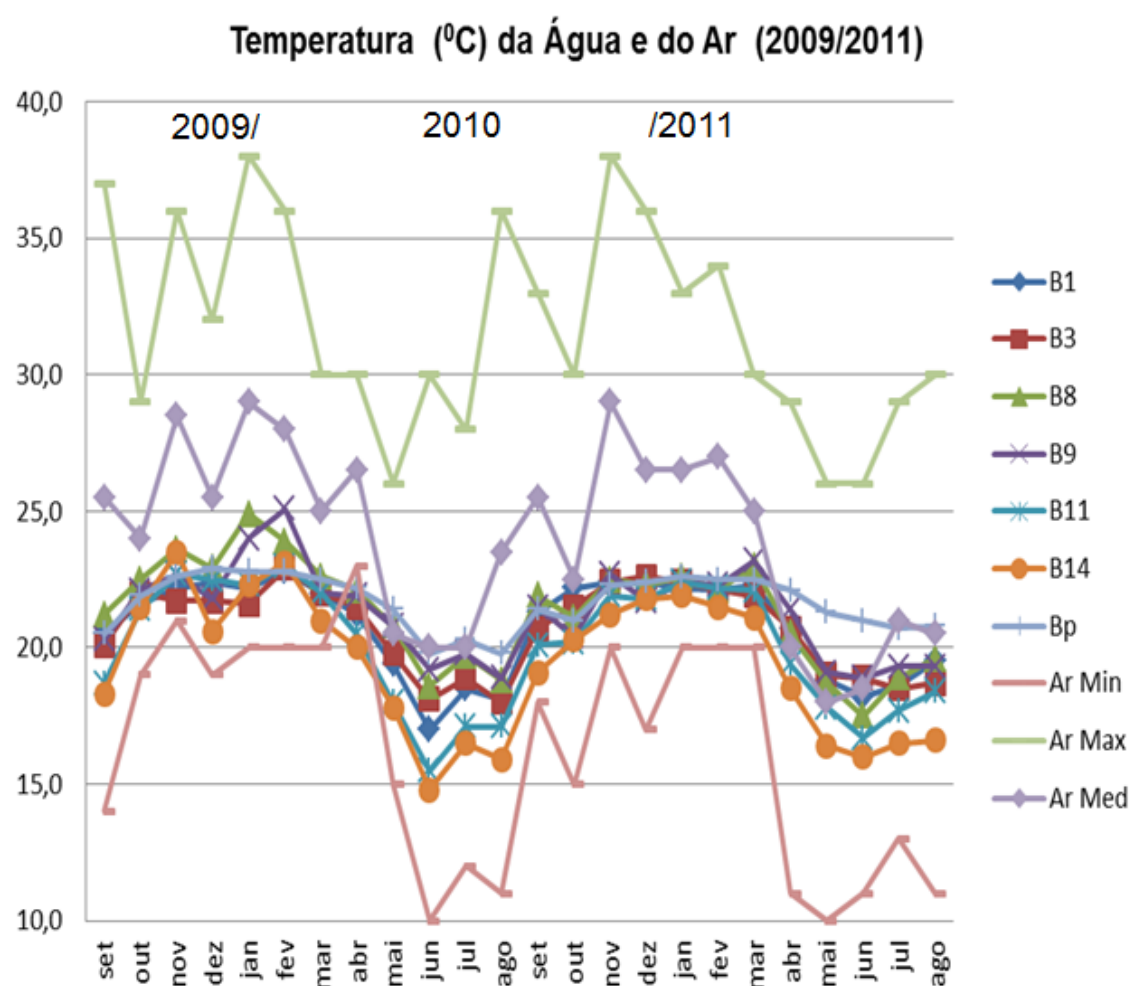


Figura 32. Temperaturas da água mensais dos anos 2009/2011 e temperaturas mínima, média e máxima do ar no município de Batatais, SP.

Portanto, a temperatura varia de acordo com a variação climática ao longo do ano e o recurso hídrico é abastecido em função da frequência das chuvas. A água de nascente desprovida de mata ciliar responde à ação antrópica com aumento da condutividade elétrica, em função do aumento da concentração de sais no recurso hídrico.

4.3 Análise Multivariada

Assim como Araújo et al. (2013) e Costa et al. (2013), o resultado da análise separa os dois primeiros fatores, os quais, a proporção da variância acumulada de F1 (55,20%) e F2 (25,35%) totalizam 80,55% da variabilidade contida nas variáveis originais (Tabela 16).

Tabela 16. Autovalores vetoriais dos componentes principais e a % da variância dos dados da água de microbacias hidrográficas do córrego da Prata, Batatais, SP, Brasil.

	Autovalores	Acumulados	% Total	% Acumulada
F1	2,21	2,21	55,20	55,20
F2	1,01	3,22	25,35	80,55
F3	0,77	3,99	19,29	99,84
F4	0,00	4,00	0,16	100,00

A Tabela 17 apresenta os resultados da análise fatorial realizada com os dados de qualidade de água, juntamente com suas respectivas ANOVA e média do teste de comparações múltiplas. O fator F1 mostra uma correlação positiva entre um grupo de variáveis (SDT e CE), que indicam que quanto maior a concentração iônica (SDT = 0,99) maior a capacidade de conduzir corrente elétrica (CE = 0,99) pela água do ponto de coleta da microbacia B8 (Média das Microbacias). A ANOVA mostra que essas variáveis são significativas para a microbacia B8 (cana-de-açúcar), mas não possuem efeito transversal (mês) e tampouco interativo.

Tabela 17. Autovalores da análise fatorial e resultados do Teste de Fischer (0,05%) dos autovetores F1 e F2, para as variáveis da água das microbacias do manancial do córrego da Prata, Batatais, São Paulo, Brasil. Total do número de observações = 168.

Fatores	F1	F2
T°C	-0.04	-0.86
pH	0.30	0.64
CE	0.99	0.10
SDT	0.99	0.08
Autovalores	2.21	1.01
%	55.20	25.35
Interpretação do fator (Processos)	Escoamento Superficial e Erosão Hídrica	Sazonalidade
Análise de variância ^a		
Microbacia	***	***
Mês	ns (0,06)	***
Microbacia * mês	ns (0,72)	ns(0,32)
Médias das Microbacias ^b		
B1	_b	_bc
B3	_b	_b
B8	a_	_b
B9	_b	_c
B11	_b	a_
B14	_b	a_
Bp	_b	_b
Médias dos Meses ^b		
Janeiro	ab_	___e
Fevereiro	abc	___e
Marco	abc	___de
Abril	ab_	_bc_
Maio	_bc	_bc_
Junho	_c	a_
Julho	_bc	ab_
Agosto	_c	_bc_
Setembro	abc	_bc_
Outubro	abc	_cd_
Novembro	abc	___de
Dezembro	a_	_bc

^a Níveis de significância: * $P=0.05$, ** $P=0.01$, *** $P=0.001$ e ns=não significativo.

^b Médias de Multicomparações: valores das letras nas colunas não significativos a 5%, onde $a > b > \dots$

Souza e Tundisi (2003), estudando a influência antrópica na qualidade da água, em microbacia hidrográfica com média de 58% de ocupação com lavoura de cana de açúcar, verificaram que a variável CE tem alta correlação positiva com SDT no verão, explicando 51% da variância dos dados.

Pelo emprego da análise fatorial, Guedes et al. (2012) identificaram que o melhor comportamento das variáveis de qualidade das águas do médio Rio Pomba foi aquele composto por três fatores, explicando 74,30% da variância total, um deles o escoamento superficial.

Assim como Guzman et al. (2012) e Ng Kee Kwong et al. (2002), observamos que uma estrada de serviço (carreador) facilitou o escoamento superficial da água da chuva de área com lavoura de cana de açúcar para área da nascente da microbacia B8, encharcada e desprotegida de mata ciliar, onde os insumos transportados alteraram a água da rede drenagem.

A condutividade elétrica na água pode ser alterada devido à entrada de fertilizantes e defensivos agrícolas que acabam aumentando as concentrações iônicas dos corpos d'água, ocorrendo o aumento de íons e o desequilíbrio iônico (HERMOSIN et al., 2013; QUEIROZ et al., 2010; ANDRADE et al., 2007).

Portanto, denota-se que a ação antrópica realizada nos meses do verão chuvoso (outubro a março) pode ter alterado as concentrações de SDT e a CE da água da microbacia B8 (ocupada com cana de açúcar) durante o manejo de insumos agrícolas (corretivos, fertilizantes e agrotóxicos). Assim, como consequência da entrada de componentes (SDT) na microbacia hidrográfica, houve o aumento da CE no ponto de amostragem da microbacia B8.

O modelo aplicado da ANOVA ao fator F2 (Tabela 17) indica efeito transversal significativo (mês), evidenciando a sazonalidade dos dados. O fator F2 mostra uma correlação negativa entre a variável T°C (-0,86) e o pH (0,64), ou seja, quanto menor a T°C maior o pH no recurso hídrico e vice versa. Os dados de temperatura separam os anos de coleta em duas épocas, a de verão quente e chuvoso (outubro a março) e de inverno frio e seco (abril a setembro).

O teste de Fischer para o fator F2 (T°C e pH) destaca as microbacias B11 com uso e ocupação de reflorestamento com o gênero *Pinus* e B14 como testemunha para o processo da sazonalidade dos dados. No caso, a menor temperatura registrada no inverno seco e frio (Junho e Julho) para a testemunha (B14).

O sistema de uma microbacia é aberto, pois o fluxo de matéria e energia é dinâmico e sensível ao manejo que nela ocorre. Nas áreas de implantação dos sistemas produtivos, as práticas de gestão estão diretamente relacionadas à qualidade do recurso hídrico. Deste modo, o impacto das práticas agrícolas nos ecossistemas é consequência do desequilíbrio entre o manejo e a conservação do solo e da água.

Donadio et al. (2005) constataram que a presença de remanescente de vegetação ciliar auxilia na proteção desses recursos hídricos, o que não é verificado no local da nascente da microbacia B8 (Cana). A adoção de práticas de gestão agrícola (WHITALL et al., 2010), que minimizem o transporte de herbicida durante a vazão das chuvas, é uma prioridade para a indústria australiana de cana de açúcar, especialmente nas bacias costeiras que drenam para o patrimônio mundial das barreiras de corais.

6 CONCLUSÕES

A análise morfométrica dos compartimentos hidrológicos foi mais eficaz no sistema de informação geográfica (SIG) na base da Carta do IBGE, quando comparada à morfometria realizada no modelo SWAT, para os cálculos de variáveis dimensionais e do relevo.

Ocorreu alteração ambiental em relação ao uso/ocupação das microbacias no que tange às características físico-químicas da água da rede de drenagem, em função do tipo de manejo empregado e da ausência de mata ciliar.

A análise exploratória multivariada correlacionou as variáveis físico-químicas da água, mostrando a representatividade do processo de escoamento superficial e erosão hídrica da água e os reflexos da sazonalidade ao longo do ano de coleta, de forma a evidenciar a alteração do sistema ambiental em relação ao uso e ocupação do solo das microbacias hidrográficas estudadas.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; ARAUJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J. A.; NESS, R. L. L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 754-762, 2013.

BLITZER, E. J.; DORMANN, C. F.; HOLZSCHUH, A.; KLEIN, A. M.; RAND, T. A.; TSCHARNTKE, T. Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 146, p. 34–43, 2012.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; LUERCE, T. D. Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. **Geociências**, v. 31, n. 3, p. 381-393, 2012.

BUSTAMANTE, M. A.; SAID-PULLICINO, D.; AGULLÓ, E.; ANDREU, J.; PAREDES, C.; MORAL, R. Application of winery and distillery waste composts to a Jumilla (SE Spain) vineyard: Effects on the characteristics of a calcareous sandy-loam soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 80–87, 2011.

CAMPOS, S.; SILVA, C. O. da; GARCIA, Y. M. Avaliação morfométrica da microbacia do Ribeirão Benfica – Piquete (SP). In: **Anais VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 8, n. 2, p. 407-421, 2012.

CARABALLO-ARIAS, N. A.; CONOSCENTI, C.; DI STEFANO, C.; FERRO, V. N. A. Testing GIS-morphometric analysis of some Sicilian badlands. **Catena**, 2013.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 241-248, 2006.

CEAPLA. **Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí**. Rio Claro, IGCE-UNESP, 2001. Disponível em www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas . Acesso em 20 julho de 2012.

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (CEPAGRI). Universidade de Campinas (UNICAMP). **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_067.html Acesso em 21 de março de 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Editora Blücher, Editora da Universidade de São Paulo, 1974. 149p.

COLETTI, C.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A. P.; SOUZA, R. T. G.; PEREIRA, D. A. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 517-522, 2010.

COSTA, C. C. de M.; ALMEIDA, A. L. T. de; FERREIRA, M. A. M.; SILVA, E. A. Determinantes do desenvolvimento do setor agropecuário nos municípios. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 295-309, 2013.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 45p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2ª edição, 2006. 367p.

ENTRY, J. A. Water quality characterization in the northern Florida Everglades. **Water Air Soil Pollution**, v. 223, p. 3237-3247, 2012.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; MENDES, I. C.; DICK, R. P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, p. 419– 427, 2011.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de rede de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba – SP**. 1968. 151 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

GARCIA, G. J.; GAMERO, H. G.; GARCIA, L. B. R.; VETTORAZZI, C. A.; KRÖENERT, R.; VOLK, M.; LAUCH, A.; MEYER, B. Impacto do uso da terra na erosão do solo e no balanço e qualidade de água na bacia do rio Corumbataí – SP. **Holos Environment**, v. 6, n. 2, p. 118-136, 2006.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN, C. H.; ARNOLD, J.G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and futures research directions. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 4, p. 1211-1250, 2007.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T. de; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012.

GUZMÁN, G. T. N., HAPEMAN, C. J., PRABHAKARA, K., CODLING, E. E., SHELTON, D. R., RICE, C. P., HIVELY, W. D., MCCARTY, G. W., LANG, M. W., TORRENTS, A. Potential pollutant sources in a Choptank River (USA) subwatershed and the influence of land use and watershed characteristics. **Science of the Total Environment**, v. 430, p. 270–279, 2012.

HERMOSIN, M. C., CALDERON, M. J., REAL, M., CORNEJO, J. Impact of herbicides used in olive groves on waters of the Guadalquivir river basin (southern Spain). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 164, p. 229–243, 2013.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin Geological Society American**, Colorado, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Carta do Brasil**. São Paulo, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 23 ago. 2011.

JOFFRE, O. M.; BOSMA, R. H. Typology of shrimp farming in Bac Lieu Province, Mekong Delta, using multivariate statistics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 153–159, 2009.

KAROLINA, S.; ZYGMUNT, M.; MARIA, S.; DAMIAN, S.; JAN, B. Application of SWAT model to small agricultural catchment in Poland. In: International SWAT Conference. 2009, Texas: Texas AgriLife Research/University USDA/Agricultural Research Service. **Proceedings...** Texas, University of Colorado at Boulder, 2009, p. 163-170.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, Wall Map, 1928.

LANG, T. A.; OLADEJI, O.; JOSAN, M.; DAROUB, S. Environmental and management factors that influence drainage water P loads from Everglades Agricultural Area farms of South Florida. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 138, p. 170-180, 2010.

LUPWAYI, N. Z.; HARKER, K. N.; CLAYTON, G. W.; O'DONOVAN, J. T.; BLACKSHAW, R. E. Soil microbial response to herbicides applied to glyphosate-resistant canola. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 129, p. 171–176, 2009.

MATTOS, J. B.; LOURENÇO, R. A.; NASCIMENTO, S. da H.. O uso do geoprocessamento como instrumento de análise morfométrica da microbacia do rio capivara, município de Lençóis - BA. In **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

MIGLIACCIO, K. W.; CHAUBEY, I. Spatial distributions and stochastic parameter influences on SWAT flow and sediment predictions. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 4, n. 13, p. 258-269, 2008.

MILSTEIN, A.; ISLAM, M. S.; WAHAB, M. A.; KAMAL, A. H. M.; DEWAN, S. Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. **Aquaculture International**, v. 13, n. 6, p. 501-518, 2005.

MINOTI, R. T. **Microbacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi superior/SP**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2006.

MORA-LEYVAL, I.; POMARES-ALFONSO, M.; SANTIAGO, J. F.; VILILANUEVA-TA'GLE, M. Multivariate analysis of Almendares river waters. **Water Environment Research**, v. 79, n. 7, p. 813-816, 2007.

MOREIRA, J. C.; PERES, F.; SIMÕES, A. C.; PIGNATI, W. A.; DORES, E. C.; VIEIRA, S. N.; STRÜSSMANN, C.; MOTT, T. Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1557-1568, 2012.

MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. **Technical Report**, Department Geology, p. 30, 1953.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. & KING, K. W. **Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2000**. Disponível em: <http://www.brc.tamus.edu/swat/downloads/doc/swat2000theory.pdf>. Acesso em 22 de agosto de 2010. 212p.

NG KEE KWONG, K. F.; BHOLAH, A.; VOLCY, L.; PYNEE, K. Nitrogen and phosphorus transport by surface runoff from a silty clay loam soil under sugarcane in the humid tropical environment of Mauritius. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 147–157, 2002.

PALLA, V. L. **Estudo morfométrico por fotointerpretação sobre a similaridade das microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude da região de Jales - SP**. 1994. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1994.

PERES-NETO, P. R.; VALENTIN, J. L.; FERNANDES, F. A. S. Introdução a análises morfométricas. **O Ecologia Brasiliensis**, p. 57-89, 1995.

PISSARRA, T. C. T. **Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-Landsat 5 e fotografias aéreas verticais**. 2002. 136p. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, 2004.

POLLO, R. A.; BARROS, B. S. X. de; BARROS, Z. X. de; CARDOSO, L. G.; RODRIGUES, V. A. Caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Água da Lucia, Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 5, n. 1, p. 163-174, 2012.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde**, v. 5, p. 200–210, 2010. Disponível em <http://revista.gvaa.com.br>. Acesso em 01 de março de 2013.

RODRIGUES, V. A. Morfometria e Mata Ciliar da Microbacia Hidrográfica. In: RODRIGUES, V. A.; STARZYNSKI, R. **Anais Workshop em Manejo de Bacias Hidrográficas**. Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2004. p. 7-18.

ROLIM, G. de S.; CAMARGO, M. B. P. de; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. de. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

SANTOS, D.B. dos; VIDOTTO, M.L.; BERTINATTO, R.; MARCON, G.R. de S.; FRIGO, E.P. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São José, Cascavel, PR. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, v.5, n.2, p. 7-18, 2012.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. **Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Sapucaí - Mirim/Grande**. Relatório Zero, 1999.

SÃO PAULO. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Boletim Técnico Científico, São Paulo, 1981.

SÃO PAULO. Secretaria de Planejamento e Gestão. Coordenadoria de Planejamento Regional. Instituto Geográfico e Cartográfico. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo**. Escala 1:10000, 1992.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in bedlands at Perth Amboy, New Jersey. **Bulletin Geological Society America**, v. 67, p. 597-646, 1956.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966. 61p.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; ALMEIDA, H. R. R. C. Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 9, n. 3, 2010.

SILVA, I. C. O.; ALVES, R. E.; RODRIGUES, T. L. Análise de variáveis morfométricas extraídas a partir de imagem SRTM para elaboração de mapa pedológico. **Geoambiente**, v. 20, 2013.

SMITH, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal Science**, New Haven, v. 248, p. 655-68, 1950.

SONG, M. W.; HUANG, P.; LI, F.; ZHANG, H.; XIE, K. Z.; WANG, X. H.; HE, G. X. Water quality of a tributary of the Pearl River the Beijiang, Southern China: implications from multivariate statistical analyses. **Environment Monitoring Assess**, v. 172, p. 589-603, 2011.

SOUZA, A. D. G.; TUNDISI, J. G. Water quality in watershed of the Jaboatão River (Pernambuco, Brazil): a case study. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 4, p. 711-721, 2003.

SOUZA, H. N.; GOEDE, R. G. M.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M. G.; FERNANDES, R. B. A.; GOMES, L. C.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 146, p. 179–196, 2012.

STATSOFT. **Statistics: methods and applications**. Tulsa, OK, USA, 2007.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Bulletin Geological Society America**, Colorado, v. 69, p. 279-300, 1958.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans. Amer. Geophys. Un.**, New Haven, v. 38, p. 913-920, 1957.

SUGIHARA, S.; FUNAKAWA, S.; KILASARA, M.; KOSAKI, T. Effect of land management on soil microbial N supply to crop N uptake in a dry tropical cropland in Tanzania. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 146, p. 209-219, 2012.

TAYLOR, C. J.; ALLEY, W. M. Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data. **U.S. Geological Survey**, Colorado, circular 1217, 2001.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-57, 2006.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, F. A. de; PAIVA, J. de; CORNÉLIO, E. de P.; FERNANDES, F. S. Análise das características quantitativas e qualitativas da microbacia do córrego Barreiro, afluente do rio Uberaba. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 931-939, 2011.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. IIE. São Paulo, Rima, 2003.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

VALLE JÚNIOR, R. F. do; PISSARRA, T. C. T.; PASSOS, A. de O.; RAMOS, T. G.; ABDALA V. L. Diagnóstico das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Tijuco, Ituiutaba - MG, utilizando tecnologia SIG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 495-503, 2010.

VIEIRA, D. M. da S.; TORRES, J. L. R.; OLIVEIRA, L. M. de; GONÇALVES, O. R.; OLIVEIRA, M. A. de. Morfometria e qualidade da água da microbacia do córrego do Sapecado, afluente do rio Uberaba. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 05, n. 03, p. 11-22, 2012.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WALLING, D. E. Solute variations in small catchment streams: some comments. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 64, p. 141-147, 1975.

WHITALL, D.; HIVELEY, W. D.; LEIGHT, A. K.; HAPEMAN, C. J.; MCCONNELL, L. L.; FISHER, T.; RICE, C. P.; CODLING, E.; MCCARTY, G. W.; SADEGHI, A. M.; GUSTAFSON, A.; BIALEK, K. Pollutant fate and spatio-temporal variability in the choptank river estuary: Factors influencing water quality. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 2096-2108, 2010.

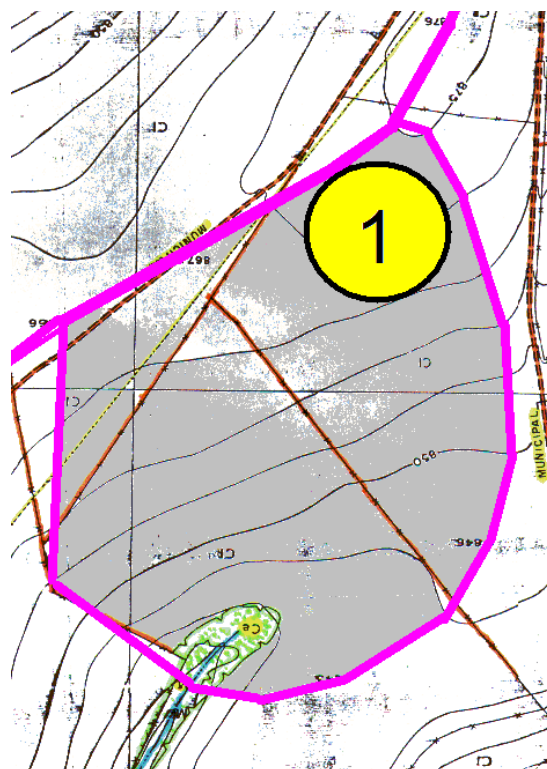
WHITE, K. L.; CHAUBEY, I. Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite and multivariable SWAT model. **Journal of the American Resources Association**, p. 1077-1089, 2005,

ZANATA, M. **Efeito do manejo na qualidade do solo e da água em microbacias hidrográficas, Batatais/SP**. 2009. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T.; ARRAES, C. L.; RODRIGUES, F. M.; CAMPOS, S. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1062–67, 2011.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T. **Informações básicas para o planejamento ambiental - Município de Batatais**. Jaboticabal: Funep, 2012. p. 1-70.

APÊNDICES



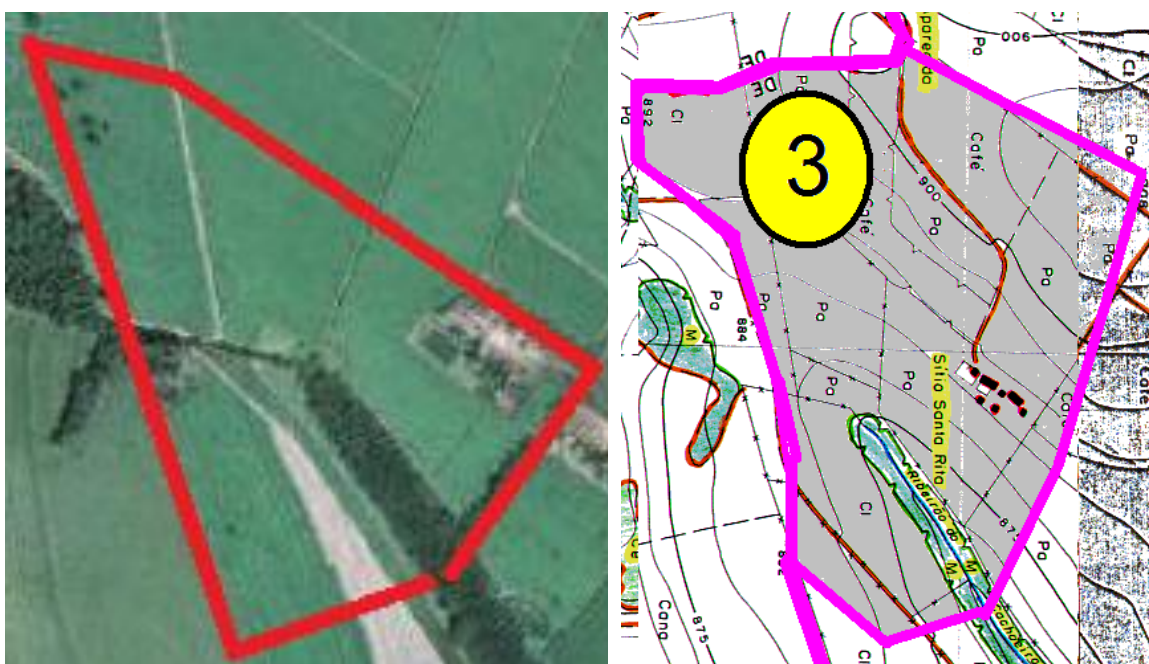
Apêndice 1. Características de uso e ocupação na microbacia hidrográfica B1.

Primeiro afluente da margem direita do córrego da Prata.

Mata ciliar cobrindo sua área encharcada com árvores de 3 a 5 metros.

Maior porção ocupada com lavoura de cana de açúcar.

Faixa de preservação permanente (APP) ocupada com a lavoura foi substituída pelo plantio de árvores nativas.



Apêndice 2. Características de uso e ocupação na microbacia hidrográfica B3.

Nascente principal do segundo afluente da margem direita do córrego da Prata.

Mata ciliar (4 a 6 m) cobrindo pouco mais que os olhos d'água.

Parte da faixa de APP cultivada com forrageiras.

Uso e ocupação com lavoura de cana de açúcar.



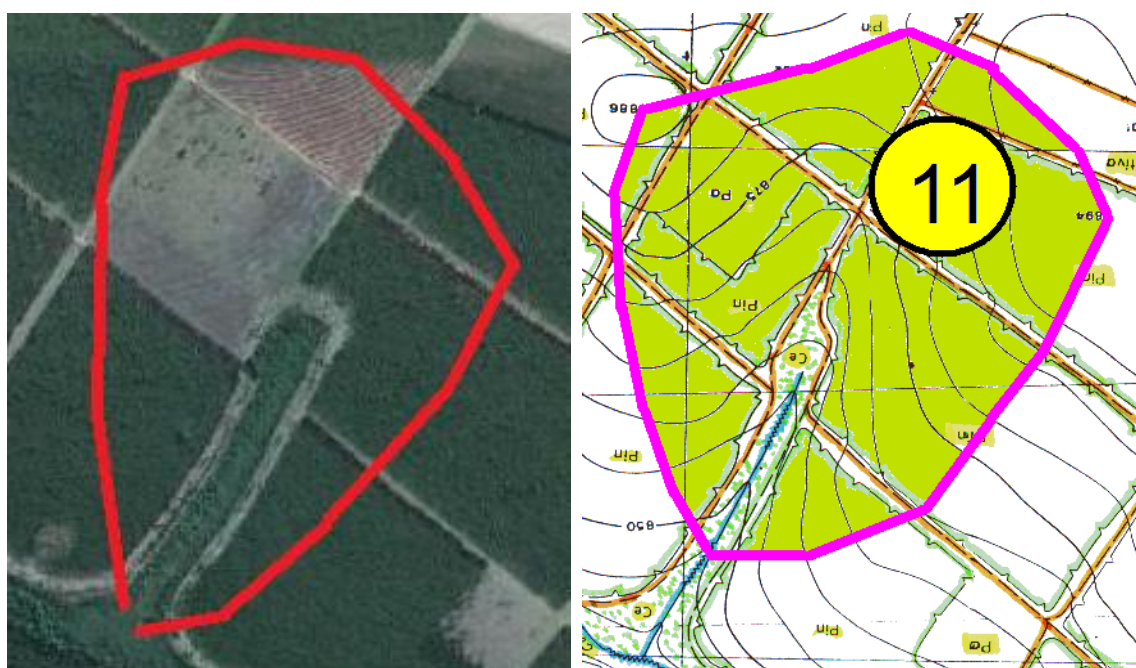
Apêndice 4. Características de uso e ocupação na microbacia hidrográfica B9.

Nascente afluyente da margem esquerda do córrego da Prata.

Mata ciliar com árvores de 2 a 4 metros de altura.

Ocupação com reflorestamento de *Pinus* e plantio de árvores nativas em APP.

A rodovia Candido Portinari e um carreador atravessam a microbacia.



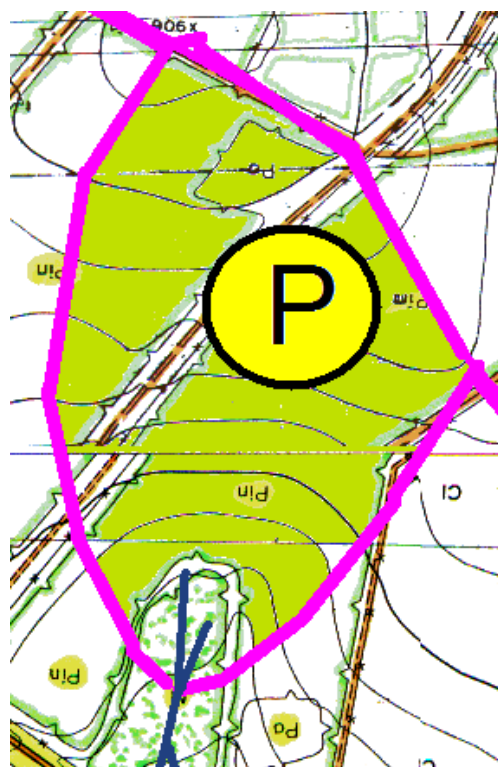
Apêndice 5. Características de uso e ocupação na microbacia hidrográfica B11.

Nascente afluyente da margem direita do córrego da Estiva.

A mata ciliar (2 a 4 m) ocupa a área de várzea da nascente.

O plantio de *Pinus* ocupa a maior parte da microbacia.

Substituição do *Pinus* pelo plantio de árvores nativas em APP.



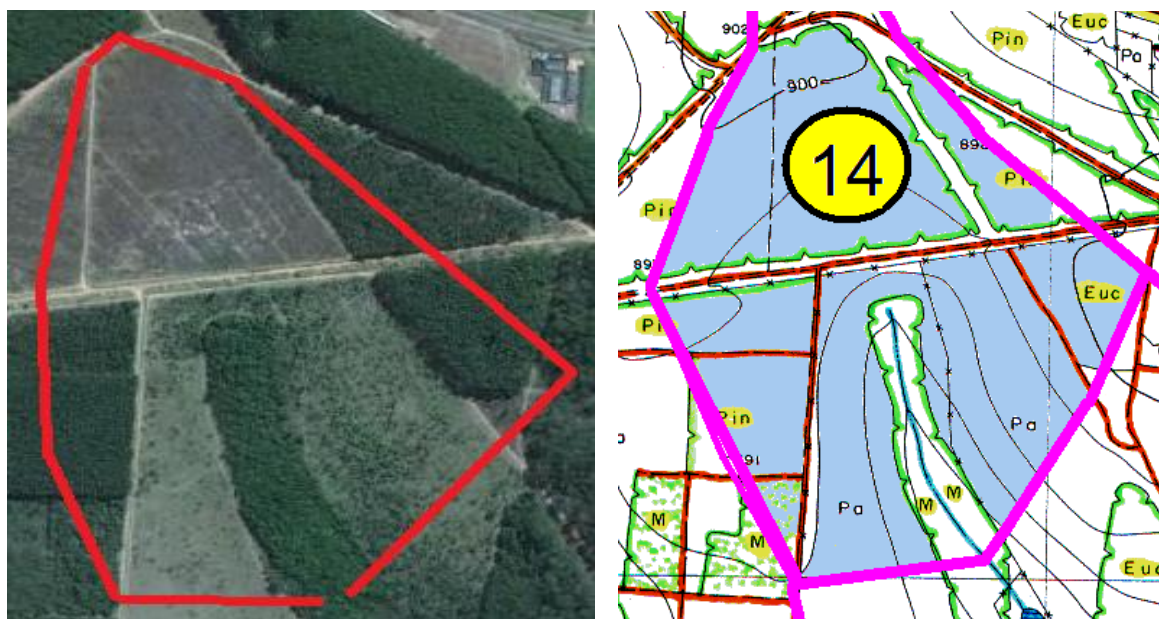
Apêndice 6. Características de uso e ocupação da microbacia hidrográfica Bp.

Afluente do córrego dos Peixes junto à rodovia Altino Arantes.

Maior poção ocupada com *Pinus*.

Carreador separa remanescente nativo (3 a 6 m) da ocupação com *Pinus*.

Remanescente em regeneração natural avançada.



Apêndice 7. Características de uso e ocupação na microbacia hidrográfica B14.

Nascente principal do córrego da Estiva.

Remanescente florestal nativo (3 a 6 m) cobre área encharcada e APP.

A regeneração natural e o plantio de árvores nativas ocupam sua maior porção.

Menor porção coberta pelo reflorestamento de *Pinus*.