

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**GEOMÁTICA APLICADA NA CARACTERIZAÇÃO  
CONSERVACIONISTA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO  
MUNICÍPIO DE SÃO MANUEL (SP)**

**GABRIEL RONDINA PUPO DA SILVEIRA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP  
Fevereiro -2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**GEOMÁTICA APLICADA NA CARACTERIZAÇÃO  
CONSERVACIONISTA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO  
MUNICÍPIO DE SÃO MANUEL (SP)**

**GABRIEL RONDINA PUPO DA SILVEIRA**

ORIENTADOR: PROF. DR. SÉRGIO CAMPOS  
COORIENTADOR: PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP  
Fevereiro -2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S587g Silveira, Gabriel Rondina Pupo da, 1990-  
Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP) / Gabriel Rondina Pupo da Silveira. - Botucatu : [s.n.], 2016  
xii, 86 f. : fots. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Sérgio Campos  
Coorientador: Zacarias Xavier de Barros  
Inclui bibliografia

1. Morfometria. 2. Sustentabilidade. 3. Sensoriamento remoto. 4. Geotecnologia ambiental. 5. Sistemas de Informação Geográfica. I. Campos, Sérgio. II. Barros, Zacarias Xavier de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “GEOMÁTICA APLICADA NA CARACTERIZAÇÃO  
CONSERVACIONISTA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO  
MUNICÍPIO DE SÃO MANUEL (SP)”**

**AUTOR: GABRIEL RONDINA PUPO DA SILVEIRA**

**ORIENTADOR: SÉRGIO CAMPOS**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



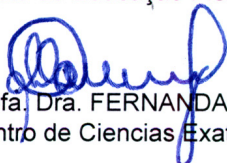
Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. ELEN FITTIPALDI BRASILIO CARREGA

Depto de Educação Física / FACULDADES INTEGRADAS DE BOTUCATU



Profa. Dra. FERNANDA LEITE RIBEIRO

Centro de Ciências Exatas / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA

Botucatu, 19 de fevereiro de 2016.

## DEDICO

A DEUS, por me guiar durante toda essa caminhada, dando-me forças e conforto em todas as decisões de minha vida.

Aos meus pais, Marinho e Cidinha, por dedicarem grande parte de suas vidas com afeto, amor e carinho, sempre estando presentes em todos os acontecimentos, desde o início.

À minha amada Caroline Mazeto, que sempre foi a inspiração dos meus atos, que no início do mestrado era minha namorada, agora é minha noiva, e em junho deste ano será minha esposa. Obrigado por todo o amor, incentivo e por ser sempre minha companheira.

Aos meus irmãos Rafael e Raquel por todos os momentos em família.

Às minhas avós Aparecida e Idméa por todo o amor e dedicação a mim prestados.

Aos meus avôs, Antônio e Mário, que mesmo não presentes em vida, estão vivos no meu coração.

## **AGRADECIMENTO ESPECIAL**

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Campos, que, desde a graduação, no início de 2010, recebeu-me em sua sala, sempre atencioso e disposto a ajudar, sempre com seu jeito generoso e amigo de ser.

Obrigado por me ensinar e me incentivar no meio acadêmico.

Obrigado pela confiança e amizade.

Muito obrigado, Professor!

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP/Botucatu), ambiente em que aprendi, por meio de grandes mestres, a minha profissão que tanto amo, por ser o local em que fiz grandes amizades que levarei por toda minha vida.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP/Botucatu), por ter me recebido para o desenvolvimento de meus trabalhos acadêmicos.

Aos coordenadores do programa de pós-graduação em Agronomia/ Energia na Agricultura, por me concederem a oportunidade de realização do mestrado.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, por me conceder a bolsa de Mestrado, fundamental na realização e continuidade deste trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, por todos os ensinamentos na área de Topografia, Sensoriamento Remoto e Cartografia, no auxílio dos levantamentos de campo deste trabalho e por todos os ensinamentos e incentivos profissionais e pessoais.

Ao Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso por todos os ensinamentos na área de Topografia e por todo o auxílio prestado tanto no campo pessoal como profissional.

Aos Professores Doutores Rafael Calore Nardini, Fernanda Leite Ribeiro, Osmar Delmanto Júnior, Ellen Fittipaldi Brasilio Carrega e Teresa Cristina Tarlé Pissarra, por aceitarem serem membros das bancas deste trabalho e por todas as sugestões que muito contribuíram para o projeto.

Aos colegas de pós-graduação, especialmente a Yara Manfrin Garcia, Aline Kuramoto Gonçalves e Ronaldo Aberto Pollo, que contribuíram muito na realização deste trabalho.

Aos meus sogros, Atílio e Gláucia, por todo incentivo, apoio, confiança, e por todos os ensinamentos que me ajudaram a crescer muito como ser humano.

A todos os docentes e funcionários do departamento de Engenharia Rural.

À secretária do programa de pós-graduação, Débora Branco, pela eficiência e atenção.

Às secretarias da seção de Pós-graduação e aos funcionários da biblioteca por todo o profissionalismo no que foi necessário.

A todos que não tiveram seu nome citado, mas que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho, meu muito obrigado.



## SUMÁRIO

	<b>Páginas</b>
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE EQUAÇÕES.....	XII
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo Geral.....	7
2.2. Objetivos Específicos.....	7
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3.1. Bacia Hidrográfica.....	9
3.2. Preservação Ambiental.....	11
3.3. Legislação Ambiental Brasileira.....	12
3.3.1. Áreas de Preservação Permanente.....	15
3.3.2. Áreas de Reserva Legal.....	16
3.4. Análise dos Parâmetros Morfométricos em Bacias Hidrográficas.....	18
3.5. Diagnóstico conservacionista.....	22
3.6. Geomática e geotecnologias.....	26
3.7. Sistemas de Informação Geográfica.....	27
3.8. Sistema de Informação Geográfica – SIG IDRISI.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1. Material.....	30
4.1.1. Caracterização geral da área em estudo.....	30
4.1.2. Base cartográfica.....	33
4.1.3. Equipamentos.....	37
4.1.4. Sistemas de Informação Geográfica.....	37
4.2. Métodos.....	38
4.2.1. Diagnóstico do Meio Físico.....	38

4.2.1.1. Delimitação da Bacia Hidrográfica.....	38
4.2.1.2. Características Dimensionais.....	38
4.2.1.3. Obtenção do mapa de uso do solo em imagem de satélite.....	42
4.2.1.4. Mapeamento das áreas de preservação permanentes (APPs)...	49
4.2.1.5. Mapas de conflitos de uso em APPs.....	49
4.2.1.6. Comprimento da Rede de Drenagem (Cr).....	50
4.2.1.7. Densidade de drenagem (Dd).....	50
4.2.1.8. Declividade Média (H).....	51
4.2.1.9. Coeficiente de Rugosidade (RN).....	52
4.2.1.10. Índice de Circularidade (Ic).....	53
4.2.1.11. Índice de Forma (IF).....	55
4.2.1.12. Coeficiente de Compacidade (Kc).....	56
4.2.1.13. Sistema de Drenagem.....	57
4.2.1.14. Extensão de Percurso Superficial (EPS).....	57
4.2.1.15. Gradiente de Canais (GC).....	58
4.2.1.16. Índice de Sinuosidade (IS).....	58
4.2.1.17. Razão de Relevo (Rr).....	59
4.2.1.18. Frequência de rios (F).....	59
4.2.1.19. Coeficiente de manutenção (Cm).....	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5.1. Análise Ambiental.....	61
5.2. Caracterização Morfométrica .....	71
6. CONCLUSÕES.....	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
1. Metragem das Áreas de Preservação Permanente aplicadas segundo o Código Florestal Brasileiro em vigência (Lei nº 12.727/2012).....	15
2. Intervalo de valores para densidade de drenagem e respectiva classificação.....	51
3. Classes de declive segundo o relevo, de acordo com Chiarini e Donzelli (1973).....	52
4. Bacias e respectivos Coeficientes de Rugosidade (RN).....	53
5. Intervalo de valores para interpretação dos resultados quanto aos índices de forma (Ic) e de circularidade (Ic).....	55
6. Intervalo de valores para interpretação dos resultados do coeficiente de compacidade (Kc).....	56
7. Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	64
8. Uso do solo nas APPs da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	70
9. Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	72

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Largura da faixa de APP (vegetação ciliar) de acordo com a legislação.....	16
2. Localização da bacia hidrográfica do rio Araquazinho - São Manuel, SP.....	31
3. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº10, a qual está localizada a bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	32
4. Aproximação e destaque da área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de São Manuel, SP.....	34
5. Aproximação e destaque da área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de Barra Bonita, SP.....	35
6. Carta imagem abrangendo a bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	36
7. Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	40
8. Planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP....	41
9. Visor do GPS de navegação Garmin® modelo Etrex, utilizado para coletar dados de campo.....	44
10. Vista do uso represa (751928m de longitude e 7491319m de latitude).....	44
11. Canalização do rio Araquazinho (751963m de longitude e 7491336m de latitude).....	45
12. Vestígio de vegetação natural recobrando área com declive superior à 45° (751880m de longitude e 7491415m de latitude).....	46
13. Vegetação natural circundando a represa (750667m de longitude e 7493113m de latitude).....	46
14. Canal de escoamento chegando ao curso natural. (750597m de longitude e 7493213m de latitude).....	47
15. Uso Cana-de-açúcar, que ocupa a maior área da bacia hidrográfica. (755163m de longitude e 7492360m de latitude).....	47
16. APP margeando o rio Araquazinho. (754800m de longitude e 7494631m de latitude).....	48

17. Usos Pastagem, Vegetação Natural e Cana-de-açúcar. (752512m de longitude e 7492463m de latitude).....	48
18. Fluxograma metodológico para delimitação das áreas de conflitos de uso nas APPs.....	50
19. Sistema de drenagem a partir da ordem dos cursos d'água na bacia hidrográfica do rio Araquazinho.....	57
20. Uso e ocupação do solo da bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP obtida pela imagem de satélite de 2014.....	63
21. Rede de drenagem da bacia do rio Araquazinho obtida das Cartas Planialtimétricas de São Manuel e Barra Bonita.....	65
22. Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia.....	67
23. Uso e ocupação do solo em APPs na bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	69

**LISTA DE EQUAÇÕES**

	<b>Página</b>
1. Determinação da densidade de drenagem da bacia hidrográfica.....	50
2. Determinação da declividade média na bacia hidrográfica.....	51
3. Determinação do coeficiente de rugosidade.....	53
4. Determinação do índice de circularidade da bacia hidrográfica.....	54
5. Determinação do índice de circularidade da bacia hidrográfica, comparando a área da bacia com a de um círculo.....	54
6. Determinação do índice de forma da bacia hidrográfica.....	55
7. Determinação do coeficiente de compacidade da bacia hidrográfica.....	56
8. Determinação da extensão do percurso superficial da drenagem da bacia hidrográfica.....	58
9. Determinação do gradiente de canais presentes na bacia hidrográfica.....	58
10. Determinação do índice de sinuosidade da drenagem da bacia hidrográfica.....	58
11. Determinação da razão de relevo da bacia hidrográfica.....	59
12. Determinação da frequência de rios presentes na bacia hidrográfica.....	59
13. Determinação do coeficiente de manutenção da bacia hidrográfica.....	60

## RESUMO

Nas últimas décadas, tem aumentado a preocupação a respeito dos recursos naturais, buscando-se a aplicação de práticas conservacionistas e recuperação de áreas degradadas no passado. Assim, o presente estudo tem o objetivo de aplicar técnicas de geomática e geoprocessamento na caracterização conservacionista da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP) através do Sistema de Informação Geográfica – IDRISI Selva, visando à preservação, racionalização do seu uso e recuperação ambiental, de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.727/2012). A bacia hidrográfica do rio Araquazinho apresenta uma área de 6.2803,07 hectares e está localizada geograficamente entre os paralelos 22° 33' a 22° 42' de latitude Sul e os meridianos 48° 27' a 48° 34' de longitude W Gr. As cartas planialtimétricas de São Manuel (SP) (IBGE, 1973) e Barra Bonita (SP) (IBGE, 1974), ambas em escala 1:50000, foram utilizadas para extrair as curvas de nível, a hidrografia e os divisores de água. O *software* SIG - IDRISI Selva foi utilizado na caracterização ambiental da área, com o mapeamento do uso do solo, e na determinação dos parâmetros morfométricos, que resultaram na caracterização física da bacia. Como resultados, segundo o Código Florestal, a área da bacia apresenta apenas 10,77% com vegetação natural, sendo que o mínimo que deve ser destinado para Reserva Legal é 20% da área total. A área de preservação permanente (303,22ha) vem sendo ocupada inadequadamente com cana-de-açúcar em aproximadamente um terço dessa área. O estudo da morfometria da bacia permitiu concluir que a área é suscetível à erosão devido à sua forma circular, porém que a velocidade do escoamento da água acaba sendo reduzida graças ao relevo plano e aos bons solos que compõem a área, aumentando assim a drenagem desta. Segundo o coeficiente de rugosidade, a bacia é adequada para o uso da Agricultura (Classe A), podendo sofrer efeitos da erosão, necessitando de medidas para prevenção e proteção com cobertura vegetal.

**Palavras-chave:** Morfometria, Sustentabilidade, Sensoriamento remoto, Geotecnologia ambiental, Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

**GEOMATICS APPLIED IN PHYSICAL CHARACTERISTICS -  
CONSERVATIONIST IN THE WATERSHED IN THE CITY OF SÃO MANUEL  
(SP)**

Botucatu, 2016. 86f - Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) -

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Gabriel Rondina Pupo da Silveira

Adviser: Sérgio Campos

### **SUMMARY**

In the last few years, the concern about natural resources has increased, seeking the application of conservation practices and the recovery of previously degraded areas. This study aims to apply techniques of geomatics and GIS in conservationist characterization in the watershed of rio Araquazinho - São Manuel (SP), using the Geographic Information System - IDRISI Selva, looking for preservation, a correct use and environmental restoration, according to the Brazilian Forest Code (Law nº 12,727/2012). The watershed of rio Araquazinho has an area of 6.2803,07 hectares and is located geographically between parallels 22° 33 'to 22° 42' South latitude and meridians 48° 27 'to 48° 34' W longitude Gr. The planialtimetrics charts of São Manuel (SP) (IBGE, 1973) and Barra Bonita (SP) (IBGE, 1974), both in scale 1: 50000, were used to extract the contour lines, hydrography and limits of the area. The *software* GIS - IDRISI Selva was used in the environmental characterization of the area, to map the land use, and to determinate the morphometric parameters, which resulted in the physical characterization of the watershed. The watershed has only 10.77% of natural vegetation, and according to the Forest Code the minimum that should be destined to the legal reserve is 20% of the total area. The permanent preservation area (303,22ha) has been inappropriately occupied by sugarcane in about a third of the area. The morphometry study of the watershed concluded that the area is susceptible to erosion due to its circular shape, however, as the flow speed of the water is reduced, due to relief plan and the good soils that form the area, the drainage of water is increased. According to the roughness coefficient, the watershed is proper to agricultural use (Class A) and may suffer the effects of erosion, requiring prevention and protection with vegetation.



**Key Words:** Morphometry, Sustainability, Remote sensing, Environmental geotechnology, Geographic Information System (GIS).

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se aumentado a preocupação mundial a respeito do rápido crescimento da taxa de desmatamento das florestas tropicais e de seu impacto na biodiversidade do planeta. Por este motivo, foram criadas e reformuladas leis de preservação ambiental, com o intuito de evitar a degradação do ecossistema, e promover a conservação do ambiente natural e a manutenção da qualidade de vida, buscando unir a rentabilidade do meio ambiente às práticas agrícolas.

A agricultura é uma das principais formas de utilização dos solos deste país, sendo necessário e de grande importância o levantamento das condições do solo, meio natural básico para a atividade agropecuária.

Assim, deve-se praticar a agricultura de forma consciente, baseando-se na adoção de práticas conservacionistas adequadas a cada tipo de solo, permitindo a longevidade dos mesmos e possibilitando o aumento de sua potencialidade e utilização por gerações futuras.

Segundo Torres e Fabian (2006), o depauperamento dos recursos naturais afeta a saúde dos animais e da humanidade, causando problemas de disponibilidade de água e queda dos níveis de produção agropecuária, o que compromete a economia global e a qualidade de vida da população.

Diversas áreas, como declividades, topos de morros, margens dos recursos hídricos e nascentes dos mananciais, não têm sido devidamente respeitadas, devido ao uso inadequado dos recursos naturais. Esses recursos foram

intensamente reduzidos na maioria das Áreas de Preservação Permanente (APPs), em muitos casos, pelo desconhecimento da população e por sua incorreta interpretação do Código Florestal Brasileiro. Conforme observou Silva (1996), as APPs devem estar cobertas por vegetação original, delimitando as áreas impróprias para o uso de terras.

Na atualidade, o modelo socioeconômico em que estamos inseridos apresenta grande conflito com o meio ambiente, devido majoritariamente à ausência de ocupação planejada. Neste contexto, o conhecimento das áreas de uso de uma determinada região, além de possibilitar o direcionamento adequado do tipo de manejo, permite identificar possíveis problemas acarretados pelo efeito das ações antrópicas sobre essas regiões, tendo relação direta com a conservação e a exploração sustentável dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, o planejamento adequado da terra deve ser realizado constantemente para que a degradação não ocorra ou, ao menos, seja diminuída nessas áreas, principalmente das APPs.

A caracterização de variáveis morfométricas de bacias hidrográficas é uma análise representativa e investigativa do comportamento do relevo, abrangendo assim diversos parâmetros, sendo que alguns envolvem a hidrografia, relevo e outros a bacia como um todo, servindo como dados para indicar se a bacia é susceptível ou não à erosão.

Uma das principais dificuldades com as quais os produtores rurais se defrontam para implantar e preservar as APPs é a falta de uma fonte de dados com informações básicas da paisagem, já que estas fornecem auxílio ao manejo e à conservação do solo e da água nas bacias hidrográficas.

A morfometria visa ao estabelecimento de relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes, através de índices numéricos que classificam a rede de drenagem. Tais índices numéricos são de fundamental importância na caracterização das potencialidades das áreas de uso de uma bacia, permitindo o seu manejo adequado com diagnósticos e análises de riscos de degradação dos recursos ambientais.

Assim, com base nos importantes aspectos tratados, a incorporação de informações provenientes de sensores remotos orbitais, como as imagens de satélite a serem utilizadas no trabalho em questão, incorporadas em plataforma SIG, aliada à eficaz capacidade de processamento, análise e manipulação que oferecem, tornam possível a verificação de áreas submetidas às restrições impostas pelo Código Florestal, suas

irregularidades, bem como a possibilidade de recuperação, levando para a população importantes dados e conhecimentos a respeito das áreas em que habitam.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho tem o objetivo geral de realizar a caracterização físico-conservacionista, por meio de técnicas geomáticas, da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP), região predominantemente agrícola, visando o desenvolvimento sustentável e a conservação dos recursos naturais.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são a utilização da geomática (Sensoriamento Remoto, SIG e outras geotecnologias) para posterior análise e efetuar a caracterização ambiental da bacia hidrográfica integrada na área em estudo, além da elaboração de mapas temáticos, visando à obtenção de dados para desdobramentos na área.

Dessa forma, o presente trabalho visa à utilização de geotecnologias na coleta de dados e no mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes em uma bacia hidrográfica no município de São Manuel/SP, o qual apresenta grande extensão de atividade agropecuária, permitindo a delimitação e

o diagnóstico do grau de degradação das áreas, de uma maneira integrada e quantitativa, além de contribuir para a criação de modelos de implantação de APPs e futuras fiscalizações ambientais, de acordo com a Lei Florestal Brasileira nº 12.727/2012.

A caracterização física da bacia foi realizada através do estudo dos parâmetros morfométricos (dimensionais, padrão e relevo de drenagem).

Esta pesquisa tem também como objetivo gerar informações científicas de forma a subsidiar os gestores públicos.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Bacia hidrográfica**

A compreensão do comportamento hídrico e do desenvolvimento da gestão de recursos hídricos, levando-se em conta suas relações antrópicas, econômicas e socioambientais, tem sido uma questão relevante para os estudos de sustentabilidade (ROCHA et al., 2014).

A escassez qualitativa e quantitativa da água está associada historicamente a modelos de desenvolvimento baseados na utilização irracional dos recursos naturais. Os conflitos intensificados em seus usos múltiplos motivaram reações e busca de soluções visando à compatibilização entre exploração econômica e utilização racional dos estoques ambientais (MAGALHÃES JÚNIOR; CORDEIRO NETTO, 2003).

Diversos autores defendem a ideia de que a bacia hidrográfica é a unidade ideal para o planejamento integrado do manejo de seus recursos naturais (MENEZES, 2001). Conforme Argento e Cruz (1996) observaram, a delimitação de uma bacia hidrográfica se faz a partir das curvas de nível, traçando-se uma linha divisora de águas que liga os pontos mais elevados - topos - da região em torno da drenagem considerada.

A bacia hidrográfica é a unidade ambiental mais adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das inter-relações concernentes ao

planejamento e a gestão do desenvolvimento, principalmente no âmbito local e/ou regional (PIRES; SANTOS, 1995). Trata-se de um recurso natural de grandeza biológica e química, que interage com os fatores edafoclimáticos, configura a diversificação dos biomas, das formas geológicas e das mudanças climáticas. O estudo em áreas de bacias hidrográficas urbanas e rurais é imprescindível quando se busca o equilíbrio entre a exploração de recursos naturais e a sustentabilidade ambiental. O processo evolutivo de seu uso manifesta-se de maneira desordenada, impulsionado pelo crescimento populacional acelerado, expansão das áreas agrícolas e intensa urbanização (VASCO et al., 2011).

A delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais (CARDOSO et al., 2006). Seus elementos principais são a água, o solo, as espécies vegetais e animais, os quais coexistem em uma interação permanente e dinâmica, de forma que as interferências naturais (intemperismo e modelagem da paisagem) e antrópicas (uso e cobertura da terra) os afetam como um todo. Todas as áreas, sejam elas urbanas, industriais ou rurais, compõem uma bacia hidrográfica, ou seja, tudo o que estiver dentro dos divisores de águas, que são os pontos mais altos que determinam o limite da bacia hidrográfica, fazem parte desta.

Nessas unidades naturais, os recursos hídricos consistem em indicadores das condições dos ecossistemas em relação aos efeitos do desequilíbrio das interações entre seus componentes. Por tais razões, as bacias hidrográficas vêm se consolidando como unidade geográfica de planejamento do uso e ocupação das terras, tanto no meio rural quanto urbano, visando o desenvolvimento sustentado no qual se compatibilizam atividades econômicas com preservação ambiental (SOUZA; FERNANDES, 2000).

Para Souza (2002), os elementos presentes em uma bacia hidrográfica coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais e àquelas de natureza antrópica, afetando os ecossistemas como um todo. Nesses compartimentos naturais (bacias hidrográficas), os recursos hídricos constituem indicadores das condições dos ecossistemas, no que se refere aos efeitos do desequilíbrio das interações dos respectivos componentes.



### 3.2. Preservação Ambiental

A cobertura vegetal apresenta importante objetivo para a preservação de recursos naturais como o solo, atuando como proteção contra agentes erosivos. Conforme relataram Lal (1988) e Pinto (1991), os processos erosivos representam um problema não somente pela perda de solo como meio de suporte às atividades agrícolas, mas também por trazerem consequências negativas relacionadas ao assoreamento e à contaminação dos cursos d'água, lagos e represas.

O planejamento ambiental tem sido uma preocupação nas últimas décadas, em função do aumento da atenção dada a questões relacionadas à preservação dos recursos naturais, notadamente solo e água, além de recursos energéticos e biológicos, o que por sua vez gerou a necessidade de organizar o uso da terra, de compatibilizar esse uso com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida das populações (ALMEIDA, 1993).

Segundo Pollo (2013), a preservação ambiental é um grande desafio que exige não só das autoridades responsáveis, mas também da ação conjunta e consciência das comunidades que englobam o território.

O mesmo destacou Garcia (2014) ao afirmar que o planejamento ambiental é um resultado do aumento da competição da busca de recursos naturais, sendo fatores determinantes na organização do uso da terra, a fim de tornar compatível a utilização com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida da população.

Silveira et al. (2013) destacou que a fiscalização da aplicação da lei se faz importante para que os recursos naturais sejam preservados, já que estão cada vez mais escassos e competitivos.

O início do trabalho de proteção de áreas dos ecossistemas naturais de um determinado ambiente, no território brasileiro, data do ano de 1605, quando surgiu a primeira lei de cunho ambiental no país voltado à proteção das florestas, denominada de Regimento do Pau Brasil. Segundo Aguiar e Pinho (2007) desse regimento constava uma série de medidas rigorosas e restritivas, criadas para regular e racionalizar o corte e o comércio do Pau-Brasil; sua determinação era de que ninguém poderia cortar sem licença expressa do provedor da Fazenda, sob pena de morte e confisco dos bens.

Conforme Garcia (2011), a legislação ambiental brasileira está entre as mais completas e avançadas do mundo, e seu desenvolvimento está de acordo com a importância que a preservação do meio ambiente vem ganhando já que a questão ambiental é uma das mais discutidas na atualidade por exercer impacto direto na qualidade de vida dos seres vivos.

### **3.3. Legislação Ambiental Brasileira**

Em 1934, foi criado o Código das Águas (Decreto nº 24.643). Este Código apresentava algumas características preservacionistas, estabelecendo o uso da propriedade em função do tipo florestal existente, definindo as categorias de florestas protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. As florestas protetoras apresentavam, para a época, um indício do que seria o instituto das florestas de preservação permanente, instituído pelo Código Florestal de 1965. Mesmo assim, o Código das Águas de 1934 já era bastante conservacionista. Porém, apesar das boas intenções, a legislação não funcionou devido à inércia e à displicência das autoridades, além do fato de, dependendo da localização, as áreas que deveriam ser declaradas protetoras ou remanescentes continuarem a ser entregues ao uso agrícola (SWIOKLO, 1990).

Já em 1965, com a edição do segundo Código Florestal (BRASIL, 1965), o antigo Código Florestal de 1934 foi aperfeiçoado. Este novo Código representou importante instrumento disciplinador das atividades florestais ao declarar as florestas existentes no território nacional como bens de interesse comum a toda a população e limitou o uso da propriedade rural por seus proprietários.

O Código Florestal (Lei nº 4.771), sancionado em 15 de setembro de 1965, considera as áreas, cobertas ou não por vegetação nativa “com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” como Áreas de Preservação Permanente (APPs), protegidas nos termos dos artigos 2º e 3º dessa Lei (Art. 1º, §2º, II da Lei 4.771/1965).

Porém, após o Código Florestal de 1965, houve uma grande preocupação com os recursos hídricos e com áreas de encostas, associada ao excesso de medidas provisórias criadas ao longo dos anos em que esse código esteve em vigor,

gerando com isso a necessidade da criação de um novo e aperfeiçoado Código Florestal Brasileiro, no ano de 2012.

O Código Florestal (Lei nº 12.727), sancionado em 17 de outubro de 2012, alterou a Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; alterou as Leis nºs6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, estabelecendo normas gerais sobre a proteção da vegetação, APPs e as áreas de Reserva Legal, a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, sendo um compromisso do Brasil com a preservação das suas florestas e demais formas de vegetação nativa, bem como da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático, para o bem-estar das gerações presentes e futuras.

O artigo 4º da referida Lei considera como preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural, em zona rural e urbana, situadas:

**I - As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:**

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

**II - As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:**

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

**III - Nas nascentes:**

Ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais, ainda que intermitentes e nos "olhos d' água", qualquer que seja a sua situação topográfica, em um raio mínimo de 50m de largura.

**IV – Áreas com declives superiores a 45°:**

Nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, deve ser vegetado o equivalente a 100% na linha de maior declive.

**V - Topo de morros, montanhas e serras.**

Montes, montanhas e serras devem ser conservados com vegetação natural em sua totalidade, evitando com isso, desbarrancamentos e possíveis acidentes comprometendo a conservação ambiental e a segurança dos seres vivos ao redor.

**VI - Altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros:**

A área deve ser conservada por toda sua totalidade, evitando com isso acidentes como os citados em montes, montanhas e serras.

### 3.3.1. Áreas de Preservação Permanente

Sobre o Código Florestal Brasileiro, segundo o art. 6º deste, “Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinada”:

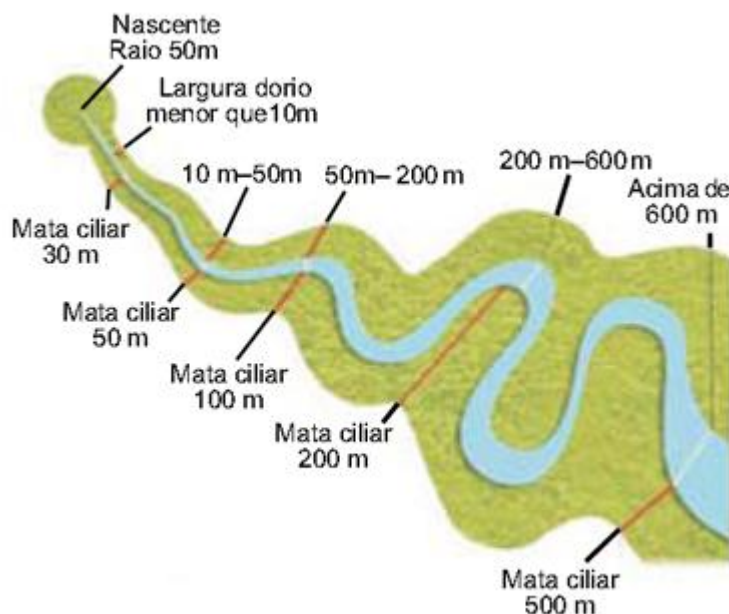
- I - Conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha;
- II - Proteger as restingas ou veredas;
- III - Proteger várzeas;
- IV - Abrigar exemplares da fauna ou da flora ameaçados de extinção;
- V - Proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico, cultural ou histórico;
- VI - Formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;
- VII - Assegurar condições de bem-estar público;
- VIII - Auxiliar a defesa do território nacional, a critério das autoridades militares;
- X - Proteger áreas úmidas, especialmente as de importância internacional (BRASIL, 2012).

As APPs (Tabela 1), aplicadas nas margens dos rios, conforme o Código Florestal, mostram a metragem em relação a faixa de preservação permanente de acordo com a largura (a partir do leito regular) do curso d’água.

**Tabela 1.** Metragem das Áreas de Preservação Permanente aplicadas segundo o Código Florestal Brasileiro em vigência (Lei nº 12.727/2012).

<b>Largura (Rios ou Córregos em m)</b>	<b>Faixa de Preservação em cada margem</b>
Até 10	30 m
Entre 10 e 50	50 m
Entre 50 e 200	100 m
Entre 200 e 600	200 m
Superior a 600	500 m
Nascentes	Raio de 50 m

A figura 1 exemplifica as APPs necessárias em cada largura de rio, mostrando a dimensão e proporção da APP com o rio que esta compõe.



**Figura 1.** Largura da faixa de APP (vegetação ciliar) de acordo com a legislação  
Fonte: FEMPAR (2010).

Zakia (2013) definiu as APPs em tipos, levando em consideração suas características naturais e estado físico em que se encontram. Foi subdividido nos seguintes tipos: Hídrica natural, quando são nascentes, cursos d'água intermitentes ou perenes, lagoas e lagos naturais e veredas; Reservatório, quando encontram-se com reservatórios d'água artificiais, decorrentes de projeto de barragens, vertedores, represamento e obras hidráulicas no geral construídas em cursos d'água naturais; Relevo, que compreendem áreas vegetadas em encostas, bordas dos tabuleiros, chapadas, topo de morros, montes, montanhas e serras; e por último, áreas associadas a costeira, ou seja, restingas e manguezais.

### 3.3.2. Áreas de Reserva Legal

O código florestal brasileiro em vigência (Lei nº 12.727/2012) ainda define como importância para a preservação ambiental, a área de reserva legal.

A reserva legal é a área do imóvel rural que deve ser coberta por vegetação natural, e que pode ser explorada com o manejo florestal sustentável. Varia de acordo com o bioma em que está a propriedade. Se os ambientalistas defendem a sua preservação, o setor produtivo reclama que se trata de intromissão indevida do Estado

sobre a propriedade privada, o que diminuiria a competitividade da agricultura e a capacidade do país de produzir mais alimentos. Porém, com um manejo agroindustrial florestal sustentável pode-se produzir o suficiente para a demanda humana e conservar a natureza (SENADO FEDERAL, 2011).

Ainda, segundo a publicação anterior, o texto inicial do Código Florestal de 1965 tinha uma redação bastante diferente da atual (muito modificada por uma medida provisória de 2001). Dividia as áreas a serem protegidas de acordo com as regiões, e não pelo tipo de vegetação. Fixava um mínimo de 20% a ser mantido nas “florestas de domínio privado” na maior parte do país, ressalvando uma proibição de corte de 50% nas propriedades “na região Norte e na parte Norte da região Centro-Oeste”.

Porém, em 1996, diante das estatísticas que indicavam recorde no desmatamento na Floresta Amazônica, o ex-presidente da república, Fernando Henrique Cardoso, baixou a Medida Provisória nº 1.511, que ampliou para 80% a reserva legal naquela região (SENADO FEDERAL, 2011).

É deste ano a definição em vigor acerca da reserva legal. Nas propriedades na Amazônia Legal, 80% em área de floresta, 35% no Cerrado e 20% nas demais vegetações, e no resto do país, 20%, sendo que essas normas foram mantidas na legislação atual.

O conceito de Reserva Legal - RL vem previsto no artigo 3º, inciso III do novo código florestal, como:

“Área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. nº 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa” (BRASIL, 2012).

Complementado pelo artigo 12, definem-se os percentuais da área protegida:

“Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, observados os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel, excetuados os casos previstos no art. nº 68 desta Lei.” (BRASIL, 2012).

Caso o imóvel esteja localizado na Amazônia Legal, o qual necessita maior preservação, deve ser aplicado para a Reserva Legal:

- a) 80% do imóvel situado em área de florestas;
- b) 35% do imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% do imóvel situado em área de campos gerais;

E, nas demais regiões localizadas no território brasileiro, aplica-se 20% da área total da propriedade.”

### **3.4. Análise dos parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas**

As características físicas de uma bacia hidrográfica são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico, existindo uma estreita correspondência entre regime hidrológico e estes elementos, sendo de grande utilidade prática o seu conhecimento. Estas relações podem determinar indiretamente valores hidrológicos em seções ou locais de interesse, nos quais faltam dados ou, em regiões onde, devido a fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de equipamentos de medição (VILLELA; MATTOS, 1975).

Conforme Queiroz et al. (2014), a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas é de fundamental importância nos estudos ambientais, isso porque descreve as características sobre o sistema fluvial e a modelagem do relevo, identificando as possíveis alterações antrópicas provocadas dentro desse ecossistema, bem como na tentativa de compreensão da dinâmica fluvial.

Esses parâmetros morfométricos podem ser obtidos a partir dos dados físicos de uma bacia, os quais segundo Tonello (2005) podem ser divididos em geométricos, geomorfológicos e hidrográficos. Esses dados possuem uma forte relação com a morfologia, o clima e a pedoforma, demonstrando determinadas classes de informações e diferenças essenciais entre as distintas paisagens na bacia, que é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica ambiental de um sistema, como relatam estudos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957) e Christofolletti (1980).

Segundo estudos de Rocha et al. (2014), a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos principais procedimentos executados em análises hidrológicas e ambientais para o entendimento de suas dinâmicas local e regional e apoiar o gerenciamento dos recursos hídricos.



Os mesmos autores definiram que os estudos morfométricos tem seu trabalho iniciado a partir da análise das vazões presentes no curso d'água, na calha da bacia hidrográfica, e que a compreensão do comportamento hídrico e o desenvolvimento da gestão de recursos hídricos, levando-se em conta suas relações antrópicas, econômicas e socioambientais, têm sido uma questão relevante para os estudos de sustentabilidade.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos principais procedimentos executados em análises hidrológicas e ambientais, abordando questões que envolvem aspectos do relevo, do clima, da comunidade que habita e ocupa a os recursos vegetais e hídricos da localidade em estudo, ou seja, envolve aspectos relacionados com o físico, o social e a dinâmica do local, tudo relacionado com aspectos ambientais, sendo dados importantíssimos para o estudo da área e dos recursos hídricos (MAGESH et al., 2010; SANTOS et al., 2012; FERRARI et al., 2013; GUEDES; SILVA, 2012).

O uso da morfometria no estudo das bacias hidrográficas constitui-se em um meio complementar para explicar as interações que ocorrem entre todos os elementos da paisagem, dentre eles a pedologia, relevo e a rede hidrográfica e seus processos ambientais (QUEIROZ et al., 2014).

Os estudos morfométricos e físicos das redes de drenagem foram desenvolvidos por França (1968) o qual mostrou que bacias de 3ª e 4ª ordens de ramificação possuíam características morfométricas que refletiam a influência do solo sobre o desenvolvimento do sistema de drenagem. O mesmo autor também desenvolveu estudos onde mostrou que o sistema de drenagem depende da relação infiltração/deflúvio das águas das chuvas, que também é influenciado pelo solo.

Drenagem é o ato de escoar um fluído, que na natureza é a água, em córregos, rios, tubulações, ou seja, todo tipo de escoamento de um fluído em um canal aberto ou fechado, apresentando ou não influência da pressão atmosférica.

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (CARVALHO; SILVA, 2006).

Ainda, segunda Carvalho e Silva (2006), o padrão de drenagem de uma bacia depende da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia e clima. Esse padrão também influencia no comportamento hidrológico da bacia.

A ordem dos cursos d'água foi determinada conforme Strahler (1957), que definiu que os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores, e assim sucessivamente.

Para a drenagem, Christofolletti (1969) ressalta a importância de se determinar o coeficiente de manutenção, pois este tem uma ligação com os canais de primeira ordem, que são os fornecedores da água que mantém o canal principal, ou seja com as nascentes da rede de drenagem.

Para os parâmetros dimensionais, em estudos realizados por Cardoso et al. (2006), foi confirmado que a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, município de Nova Friburgo (RJ), aponta para uma bacia de forma mais alongada, sendo comprovado pelo índice de circularidade, coeficiente de compactidade e fator de forma, demonstrando com isso, um forte controle estrutural da drenagem.

Tais parâmetros são realizados geralmente com base em informações extraídas de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e, quando necessário, informações obtidas em campo. Basicamente são áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo medidas diretamente ou expressos por índices (TUCCI, 1997).

A densidade de drenagem ou densidade hidrográfica relaciona o número de rios pela área da bacia, estabelecendo-se a quantidade de cursos d'água por km<sup>2</sup>. Sua importância é fundamental, pois deste parâmetro se dá a representatividade do comportamento hidrográfico dentro de seus aspectos fundamentais: a magnitude da rede hidrográfica, indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (FREITAS, 1952).

Esse método foi definido por Horton (1945), sendo uma relação existente entre o número de rios, ou cursos de água, e a área da bacia hidrográfica.

Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos dos canais da rede e a área total da bacia (ANTONELI; THOMAZ, 2007).

Para Milani e Canali (2000), a densidade de drenagem reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e, conseqüentemente, a suscetibilidade à erosão.

Carvalho et al. (2009) afirmaram que valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação.

O parâmetro Declividade Média é um dos principais influenciadores de erosões, pois estas são ocasionadas principalmente pelo alto declive encontrado em encostas, o que causa um aceleração da velocidade da água, aumentando conseqüentemente a vazão desta.

Mota (1981) diz que a declividade do terreno contribui para o escoamento das águas das chuvas sendo que, quanto maior for o trecho em declive, menor será o escoamento das águas pela superfície e, conseqüentemente, maior será a possibilidade de erosão. O mesmo autor, citando Amaral e Audi (1972), concorda que o relevo é considerado um dos mais importantes critérios de ftopedologia. Juntando-se a fatores climáticos e pedológicos, o relevo comanda a capacidade de infiltração, além de determinar o tipo de escoamento superficial.

A classificação e o mapeamento da declividade do terreno são elementos indispensáveis nos levantamentos de uso da terra, constituindo-se num elemento de suma importância no condicionamento de sua potencialidade de utilização. (MARQUES, 1971).

Para Silva e Piedade (1993), o conhecimento e a representação detalhada do relevo de uma área constituem-se em elementos indispensáveis ao planejamento das atividades agropastoris, à elaboração de projetos de engenharia, ao levantamento e conservação de solos, aos estudos hidrológicos, etc.

O conhecimento da declividade de um solo pode ser obtido de diversas maneiras, em campo e em laboratório, para estudos geológicos, hidrológicos, pedológicos, etc. A declividade pode ser obtida a partir de fotografias aéreas verticais para fins de estudos geológicos (AVERY, 1962) e a partir de cartas planialtimétricas (COELHO, 1972).

Para Politano (1983), o relevo apresenta relações diretas com as condições de profundidade do perfil, susceptibilidade à erosão, drenagem, etc.

Outro parâmetro é o Índice de Circularidade, que relaciona a forma da bacia a um círculo. Seu valor unitário corresponde a uma bacia em formato de círculo perfeito. Quanto mais irregular for a bacia, maior o valor do coeficiente de compacidade. Quanto menor o seu valor maior a tendência de haver picos de cheias (ROCHA et al., 2014).

Ainda em estudos de Rocha et al. (2014), o valor do índice de circularidade encontrado foi de 1,76, sendo um valor baixo, demonstrando que a sub-bacia em estudo tem pouca tendência a picos de enchentes, indicando que esta corresponde ao formato alongado, portanto, com menor concentração do deflúvio.

Já o fator de forma e o coeficiente de compacidade são os parâmetros morfométricos mais utilizados para verificar se a sub-bacia é suscetível à inundação, por influenciar no tempo de concentração da bacia. O fator de forma demonstra uma relação da bacia com um retângulo e também indica a maior ou menor probabilidade de enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975).

Nardini (2013) conseguiu comprovar a partir de seus estudos que, em condições normais de precipitação, excluindo-se eventos de intensidades anormais, a bacia hidrográfica do Morro Grande – Bofete (SP) é pouco susceptível a enchentes, pelo fato de o coeficiente de compacidade ser maior do que 1 (1,47) e o fator de forma ser baixo (0,62), mostrando que a bacia está próxima de oblonga.

### **3.5. Diagnóstico conservacionista**

Para Rocha (1991), o diagnóstico conservacionista deve ser o primeiro passo a ser elaborado em uma bacia hidrográfica, devido a sua primordial importância pois utiliza-se técnicas de quantificação de retenção de água das chuvas por infiltração, associada a vários fatores, como: limpeza de canais e tributários, seleção de terras apropriadas para o reflorestamento com relação ao coeficiente de rugosidade, faixas de contenção, controle de áreas agrícolas e pastoris, todos processos de conservação de solos.

O coeficiente de rugosidade, por ser um parâmetro que direciona o uso potencial da terra com relação às suas aptidões para agricultura, pecuária ou reflorestamento (ROCHA, 1991), mostra também a realidade de uma bacia, oferecendo uma contribuição simples, rápida e precisa ao planejamento, para melhor e mais justa

exploração econômica, em função da vocação de suas terras (PEREIRA FILHO, 1986), pois existe uma alta correlação entre o coeficiente de rugosidade e a capacidade de uso da terra, ao nível de 0,5% de erro.

De Christo (1989) propõe método para o diagnóstico conservacionista que consiste em analisar os conflitos existentes entre o uso atual da terra e o coeficiente de rugosidade.

O método para elaborar o diagnóstico físico-conservacionista visa a reter águas pluviais na bacia hidrográfica e, assim, reter os processos de erosão, efeito de seca e de enchentes. Para isto, é necessário dividir a bacia ou sub-bacia hidrográfica em bacias hidrográficas homogêneas em áreas e padrão de drenagem. Em cada bacia, levantam-se os coeficientes de rugosidade (RN), determinando-se a aptidão das terras para agricultura, pastagem, pastagem/reflorestamento, reflorestamento, e os devidos usos. Em tabelas apropriadas, analisam-se os conflitos entre o Uso da Terra x RN e são calculadas, as áreas a serem trabalhadas para a correção dos conflitos. Concomitantemente, são recomendados reflorestamentos para cada bacia, até atingir a cobertura mínima de 20%. O método determina o grau de deterioração de cada sub-bacia, do total da bacia, e apresenta a sistemática de correção da deterioração (ROCHA, 1991).

O diagnóstico conservacionista objetiva à classificação ao e dimensionamento das áreas das bacias hidrográficas, identificando problemas decorrentes da má utilização das terras e recomendando a metodologia mais racional e eficaz de ocupação e uso agrícola pastoril ou florestal dos solos, para que se obtenha o equilíbrio ambiental e socioeconômico indispensável na zona rural e por consequência, nas zonas urbanas. Por meio da interpretação de aerofotogramas e de imagens de satélites orbitais, o diagnóstico físico-conservacionista permite identificar e quantificar os elementos de uso do solo e, a partir desses dados, elaborar o planejamento físico-rural, que constitui um dos melhores indicativos de propriedade da terra, de acordo com (MELLO FILHO; ROCHA, 1992).

A preservação das APPs é de fundamental importância na gestão de bacias hidrográficas, pois contribuem para a estabilidade dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, visando a proporcionar condições de sustentabilidade à agricultura. Intervenções nas APPs para abertura de novas áreas agrícolas comprometerão, no futuro, a reposição de água nos aquíferos, a qualidade de água superficial e subterrânea, perda de solo, ameaças à saúde humana e degradação dos mananciais, além de comprometer a

produção de alimentos. O papel regulador dos ciclos naturais realizado pelas APPs é fundamental para a manutenção do equilíbrio ecológico (TUNDISI; TUNDISI, 2010; SILVA et al., 2011).

Segundo Erba e Rocha (1992), o manejo integrado é o único caminho a ser seguido para a recuperação ambiental, conduzindo ao equilíbrio do ecossistema, consistindo na elaboração dos seguintes diagnósticos básicos: físico-conservacionista, sócio econômico e ambiental da água, da fauna, da vegetação e do solo. O diagnóstico físico-conservacionista é um dos mais importantes e vitais, pois interage para formar a roda viva de deterioração ambiental.

Segundo Giotto et al. (1992), o diagnóstico conservacionista é o primeiro e o mais importante de uma série de levantamentos no manejo integrado de uma hidrografia, uma vez que neste são realizados os conflitos existentes nesta bacia, definindo unidades de manejo.

A realização de um diagnóstico conservacionista tem por finalidade o fornecimento de um importante subsídio para o planejamento, funcionando como uma ferramenta que imprime um caráter seletivo, racionalizador e de orientação ao uso das terras (DEMARCHI, 2012).

O sistema de classificação de terras em capacidade de uso, segundo Lepsch et al. (1991), foi elaborado primordialmente para atender planejamentos de práticas de conservação do solo, sendo que esse princípio tem como objetivo selecionar as técnicas de uso da terra mais recomendadas e adaptadas para o meio físico, de forma que não haja deterioração ambiental e que aqueles solos permaneçam indefinidamente estáveis, quanto à estrutura, sem diminuição de sua capacidade produtiva.

Os mesmos autores definem capacidade de uso como uma classificação técnico-interpretativa, onde os indivíduos são agrupados em função de determinadas características de interesse prático e específico para certas finalidades, visando à obtenção de classes homogêneas de terras, conforme sua máxima capacidade de utilização sem riscos de degradação do solo, especialmente no que diz respeito à erosão acelerada.

Fernandes et al. (1999) afirmaram que o primeiro passo para uma agricultura correta é a quantificação e planejamento do uso da terra. Os autores dizem ainda que a maneira como a terra está sendo utilizada tem grande influência sobre a erosão

e a produtividade dos solos, e que, por isso, para se obter uma exploração racional, cada parcela de terra deverá ser utilizada de acordo com sua capacidade de uso.

Resende (1983) e Carmo et al. (1990) ressaltaram a necessidade de maior conhecimento tanto nas qualidades dos solos quanto das espécies vegetais, frente às diferentes limitações. Além disso, deve-se buscar um melhor entendimento dessas inter-relações solo-planta, quando se objetiva avaliar a aptidão agrícola para determinadas culturas.

De acordo com Resende (1982), a avaliação ou a classificação das terras pode ser agrupada em uma parte física que contempla as qualidades da terra, representadas pelos levantamentos de solo, cartas climáticas, hidrológicas, vegetação, entre outros, e uma parte socioeconômica, envolvendo aspectos trabalhistas e de mercado. A separação das mais diferentes unidades de solo consubstancia-se na existência destas diferenças, sendo a distinção feita basicamente pela qualificação dos problemas de cada uma, além de estimativa da conveniência e viabilidade de suas relações.

Marques (1971), realizando uma avaliação das terras do estado de Minas Gerais, pelo sistema de capacidade de uso das terras, constatou a existência de 23,9% de terras cultiváveis com impedimentos moderados ou insignificantes (Classes II e III); as cultiváveis ocasionalmente ou em extensão limitada (Classe IV) ocuparam 42,1% das áreas do estado, enquanto a quantidade de terras não cultiváveis, porém próprias para pastagens ou silvicultura (Classes V, VI e VII) representaram 31,6% da área e apenas 2,4% do total das destinadas sem uso agrícola.

Para Muramoto et al. (1993), o diagnóstico da adequação agrícola das terras rurais de uma região envolve a caracterização do meio físico do uso atual e a determinação da capacidade de uso das terras, sendo possível com esses dados identificar compatibilidade entre a capacidade de uso e uso das terras, além de poder identificar as áreas utilizadas com prejuízo potencial ao ambiente (acima da capacidade de uso) e as subutilizadas (abaixo da capacidade de uso).

### 3.6. Geomática e Geotecnologias

Geomática é a ciência que se utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para a análise de informações geográficas, ou seja, informações temáticas “amarradas” à superfície terrestre, através de um sistema de coordenadas (ROSA, 2009).

A geomática consiste em um campo de atividades que integra todos os meios utilizados para a aquisição, armazenagem, análise, apresentação, distribuição e gerenciamento de dados espaciais necessários às tomadas de decisão nas áreas técnicas, administrativas, legais e científicas, e mesmo sendo um termo relativamente novo, representa a evolução dos campos de levantamento e mapeamento, congregando atividades tradicionais de cartografia, topografia, geodésia, fotogrametria, com as novas tecnologias: sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, sistemas de posicionamento global por satélite.

Chuerubim et al. (2014), constatou em seus estudos que a geomática possibilita ao usuário tratar dados e informações qualitativas e quantitativas das mais diversas áreas do conhecimento em uma única plataforma de dados, gerando novas informações, conhecimentos e produto.

Novo (1989) afirma que o Sensoriamento Remoto pode ser definido como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, para a transmissão de dados, aeronaves e espaçonaves, objetivando o estudo das interações no ambiente terrestre, entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas diversas manifestações, sem a ocorrência do contato físico direto.

Em meio aos sistemas de sensoriamento remoto disponíveis, as fotografias aéreas e as imagens de satélites são ferramentas muito utilizadas no monitoramento ambiental. Segundo Scolpel, Assad e Orioli (1993), por meio da utilização de produtos de sensoriamento remoto, como as fotografias aéreas, obtiveram-se dados suficientes para estabelecer, juntamente com a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), índices hierárquicos de erosão do solo em diversas épocas, concluindo que os produtos de sensoriamento remoto orbitais possibilitaram o uso constante das informações, tornando, neste sentido, viável o monitoramento das áreas críticas, sujeitas a processos de degradação de seus solos.



Para Santos et al. (1993), o uso de imagens de satélite como base cartográfica é bastante promissor, visto que seu relativo baixo custo, fácil aquisição e periodicidade podem fornecer importantes informações sobre mudanças no uso da terra.

Com a evolução nas geotecnologias, o processo de aplicação da legislação ambiental e fiscalização se tornou mais eficiente e viável, como já demonstrado por diversos autores (MAIA; VALERIANO, 2001; MOREIRA et al., 2003). Uma vez que a incorporação de informações provindas de sensores remotos orbitais aos Sistemas de Informações Geográficas e a poderosa capacidade de processamento, análise e manipulação que estes oferecem, possibilitam a verificação das irregularidades e a possibilidade de recuperação de áreas submetidas às restrições impostas pelo Código Florestal.

De acordo com Faustino et al. (2014), o sensoriamento remoto de bacias hidrográficas se faz importante por ser um suporte a diagnósticos físicos territoriais para fins de planejamento e de gestão de bacias hidrográficas, bem como para entender os processos e mudanças significativas ocorridas no ambiente.

### **3.7. Sistemas de Informações Geográficas**

Segundo Ferreira (1997), os Sistemas de Informações Geográficas podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas às várias questões sobre planejamentos urbano e regional, meio rural e levantamento dos recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando o planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas.

Nos trabalhos realizados por Piroli (2002) concluiu-se que o Sistema de Informações Geográficas, através dos seus diferentes módulos, permite a elaboração das diversas análises necessárias ao conhecimento da ocupação atual das terras na bacia hidrográfica e que a imagem do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5 fornece uma boa base de dados que, apesar de sua pouca resolução, atende às necessidades exigidas para trabalhos desta natureza, devido à rapidez com que as informações podem ser analisadas e a amplitude do espaço físico alcançado.

Conforme avaliou Costa et al. (1996), a delimitação, a quantificação e a caracterização das APPs foram possíveis, através de um Sistema de Informações Geográficas, possibilitando localizar e quantificar as áreas com uso indevido.

Por meio da metodologia descrita, a resolução espacial e a precisão topográfica são fatores proporcionais à qualidade da delimitação destas áreas.

Por meio da inserção de informações captadas por sensores remotos em ambiente SIG, Pincinato (2005) constatou que a implementação da ferramenta de extração de topos, utilizando o software Spring, e a geração de mapas de APPs completos e precisos permitiu um diagnóstico aprofundado destas, fortalecendo ainda mais a possibilidade de aplicação efetiva deste dispositivo.

Bucene (2002) destaca a importância das técnicas informatizadas de geoprocessamento, que se colocam como importante conjunto de tecnologias de apoio ao desenvolvimento da agricultura, porque permite analisar grandes quantidades de dados georreferenciados, independentemente de serem estatísticos, dinâmicos, atuando de maneira isolada ou em conjunto, permitindo o tratamento desses dados, gerando informações e possibilitando soluções através de modelagem e simulações de cenários.

Simões (1996) constatou, também, ao avaliar APPs, utilizando o SIG-IDRISI, que as técnicas de geoprocessamento são eficientes na determinação e análise destas áreas, permitindo sua atualização e monitoramento. O mesmo autor diz ser necessária a elaboração urgente de projetos de recuperação das mesmas na região de Botucatu.

### **3.8. Sistema de Informação Geográfica - SIG - IDRISI**

O Sistema de Informações Geográficas – SIG-IDRISI – é um sistema que trabalha sobre uma base de informação geográfica e processamento de imagem, sendo primeiramente um SIG raster. Alves (1993), no estudo comparativo entre os SIGs IDRISI, MAP e pMAP, concluiu que o IDRISI, devido a suas características e porte, é o mais adequado para trabalhos profissionais, sendo recomendado, entretanto, promover sua interface com outros sistemas referentes a armazenagem dos dados e geração de produtos. Essa eficiência foi comprovada por diversos autores (SILVEIRA, 2013; GARCIA, 2014; POLLO, 2013), ao utilizarem o *software* SIG-IDRISI em seus trabalhos relacionados à preservação ambiental.

O *software* IDRISI é um programa SIG, ou seja, um sistema de informação geográfica, que possui a função de processar, armazenar e gerenciar informações de imagens com dados de localização espacial.

O SIG-IDRISI reúne um conjunto de módulos que abrangem um grande número de operações analíticas, desde ferramentas básicas para cálculo de distância, por exemplo, até ferramentas mais sofisticadas para análises complexas, por exemplo, o Land Change Modeler e o Earth Trends Modeler. Desde a primeira versão em 1987, o IDRISI vem sendo desenvolvido na Clark University Graduate School of Geography. Inicialmente o IDRISI era apenas um conjunto de programas em sistema operacional “DOS” criados pelo Prof. J.R. Eastman para complementar suas atividades acadêmicas.

O Projeto IDRISI foi e continua sendo um projeto sem fins comerciais, incorporado em 1988 à instituição de pesquisa e desenvolvimento Clark Labs. As versões recentes do IDRISI Kilimanjaro (2004), IDRISI Andes (2006), IDRISI Taiga (2009) e IDRISI Selva (2012) oferecem ferramentas úteis e inovadoras de apoio à decisão na gestão ambiental, no âmbito do planejamento sustentável de recursos naturais e demais aplicações, em especial nos trabalhos de cooperação para o desenvolvimento (p.ex. distribuição de alimentos, conservação de biótopos, etc.) [UFRGS, 200-?].

Uma das mais recentes atualizações do Idrisi, a versão Selva, lançada em 2012, trouxe ferramentas modernas para o software, deixando o seu manuseio mais simples e eficaz.

Segundo Rodrigues, Rodrigues e Tagliarini (2014), em um estudo comparativo de *softwares* SIG, a classificação supervisionada obtida com o uso do IDRISI Selva, através da ferramenta *MaxLike* e do ArcGIS, ferramenta *Majority Filter*, seriam os mais indicados para a realização de análise do uso da terra por meio de classificação digital automática, devido sua maior capacidade de acurácia.

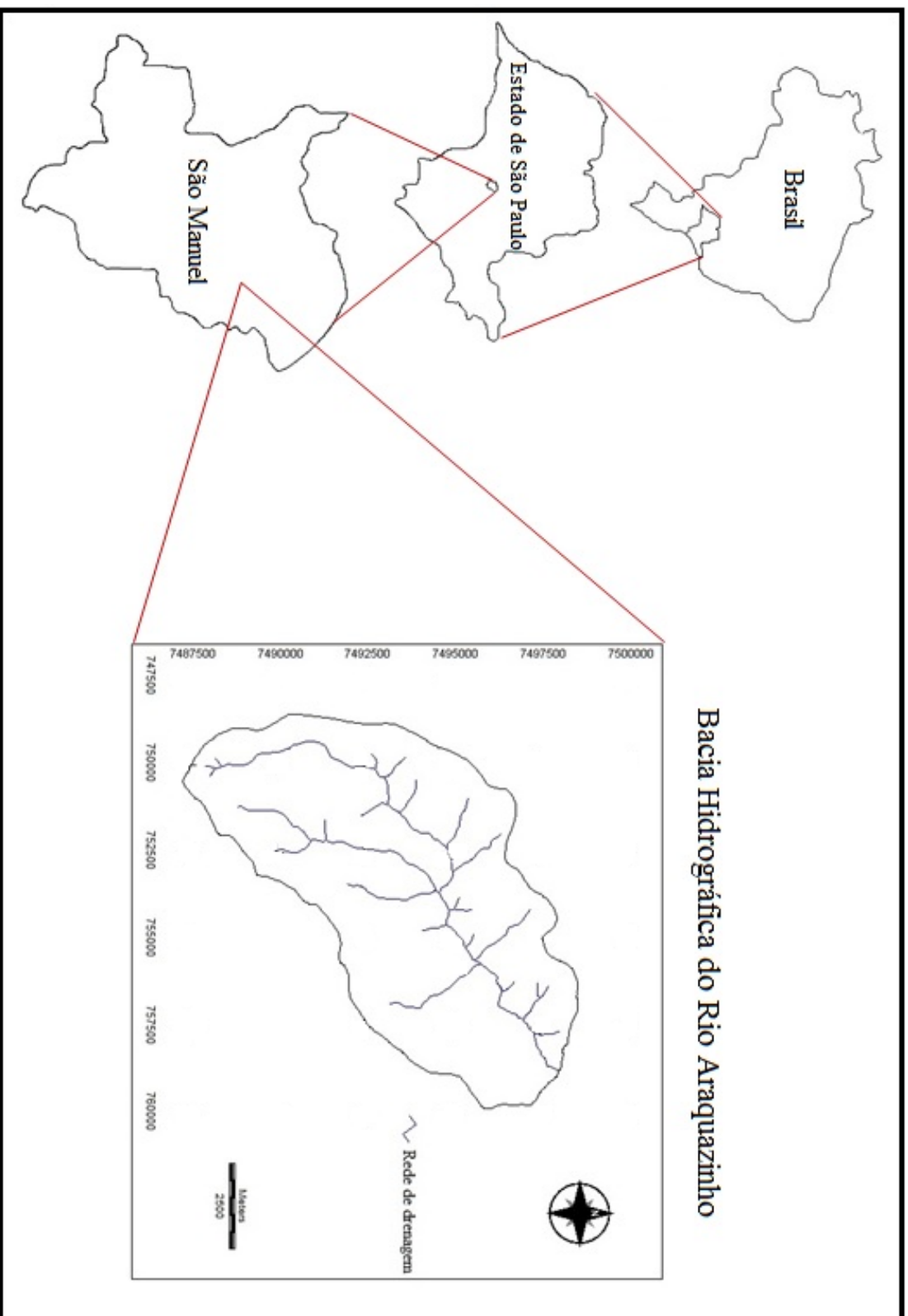
O nome próprio IDRISI é uma homenagem ao acadêmico Abu Abd Allah Muhammed al-Idrisi (1110-1166), que foi um cartógrafo e geógrafo de grande importância durante o período medieval, e que por conhecer muito bem a Europa, norte da África, Oriente Médio e Ásia Central, foi designado pelo rei normando Rogério II, da Sicília, para preparar um levantamento geográfico do mundo. Al-Idrisi liderou por 15 anos um grupo de acadêmicos e técnicos locados na corte normanda em Palermo. Baseado diretamente em trabalhos de campo, bem como em fontes de arquivo, os mapas e textos resultantes desse esforço conjunto serviram como material de referência por mais de 500 anos. [UFRGS, 200-?].

## **4. MATERIAL E MÉTODO**

### **4.1 Material**

#### **4.1.1. Caracterização geral da área em estudo**

A bacia hidrográfica do rio Araquazinho está localizada no município de São Manuel/SP, situada geograficamente entre os paralelos 22° 33' a 22° 42' de latitude Sul e os meridianos 48° 27' a 48° 34' de longitude W Gr, apresentando uma área total de 6.698,12 hectares (Figura 2).



**Figura 2.** Localização da bacia hidrográfica do rio Araguazinho - São Manuel, SP.

A bacia do rio Araquazinho está localizada na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos nº10, UGRHI 10 (Figura 3), ou seja, localiza-se na unidade Sorocaba/Médio Tietê (SMT), unidade com 6830 km<sup>2</sup> ou 683000ha (SIGRH, 2016).



**Figura 3.** Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº10, a qual está localizada a bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP.

Fonte: SIGRH (2016)

A bacia do rio Araquazinho ocupa em torno de 1% da área total da UGRHI-10.

O clima predominante no município é do tipo Aw conforme classificação de Köppen: clima tropical com estação seca de inverno (meses de junho/julho/agosto) e chuvas predominantes no verão, sendo a temperatura média anual de 21.2°C e precipitação média anual de 1464.8 mm, com altitude de 700 metros (CEPAGRI, 2015).

Conforme Oliveira et al. (1999), os solos predominantes no município são o Latossolo Vermelho Amarelos (LVA); Latossolo Vermelhos (LV); Neossolos Litólicos (RL) e o Neossolos Quartzarênico (RQ).

Em estudos sobre a capacidade de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Araquazinho, realizados por Dainese (1997), a subclasse III de capacidade de uso das terras foi a mais importante na bacia, predominando em 57,79% da área total da bacia, sendo estas agricultáveis porém com problemas complexos de conservação.

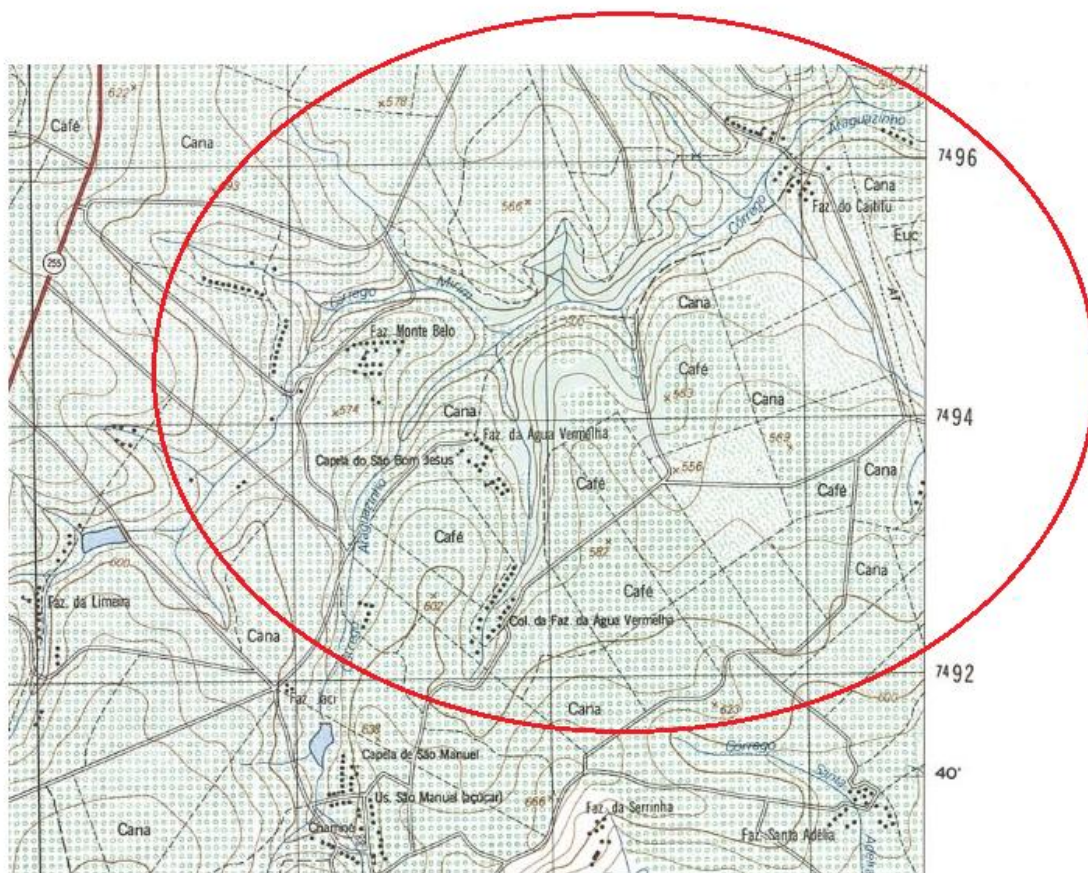
A mesma autora constatou também a presença das subclasses IV e V, áreas importantes já que destinam-se a culturas permanentes e porque predomina em 27,27% (2.235,98 ha) da bacia, ou seja, respectivamente 13,16% (1.079,02 ha) e 14,11% (1.156,95 ha).

#### **4.1.2. Base cartográfica**

Como fontes de informações sobre a área em estudo foram utilizadas as cartas planialtimétricas, em formato digital, editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, folhas de São Manuel (SF-22-Z-B-V-2) e Barra Bonita (SF-22-Z-B-VI-1), em escala 1:50000, cartas estas que abrangem a área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, município de São Manuel, estado de São Paulo, necessárias para o georreferenciamento e digitalização do limite da bacia.

A Figura 4 apresenta uma aproximação na carta planialtimétrica do município de São Manuel, carta que concentra a maior parte da bacia em estudo.

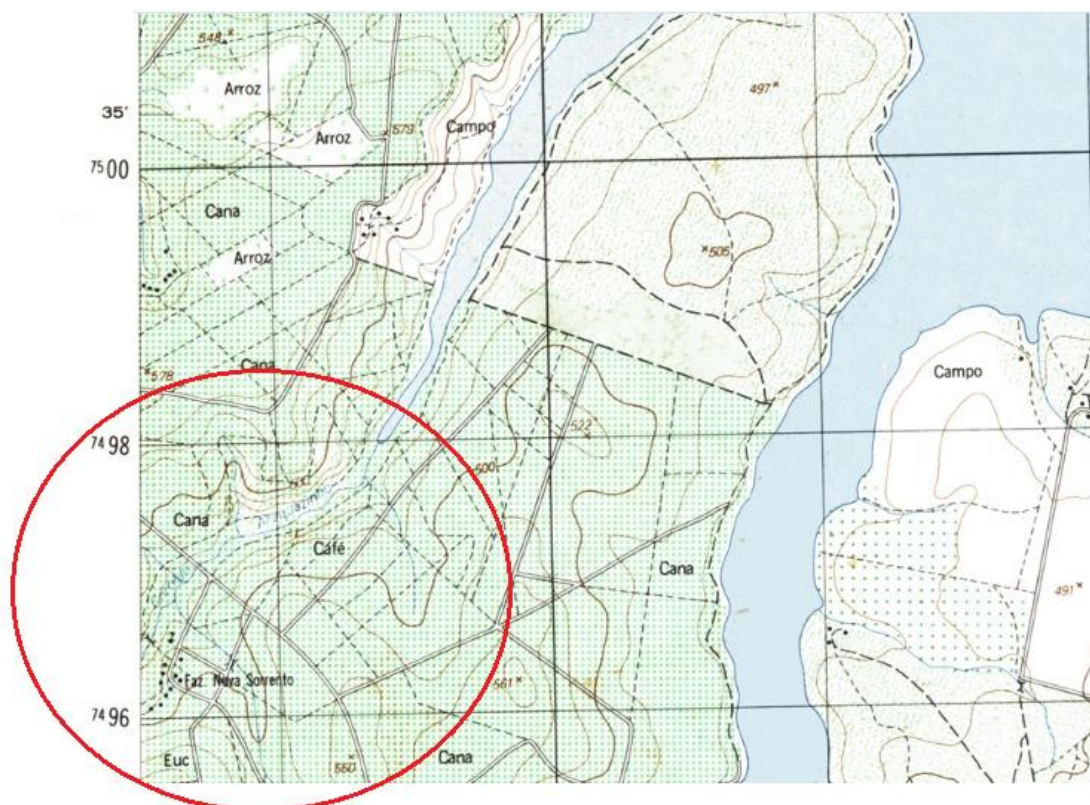




**Figura 4.** Aproximação e destaque da área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de São Manuel, SP.

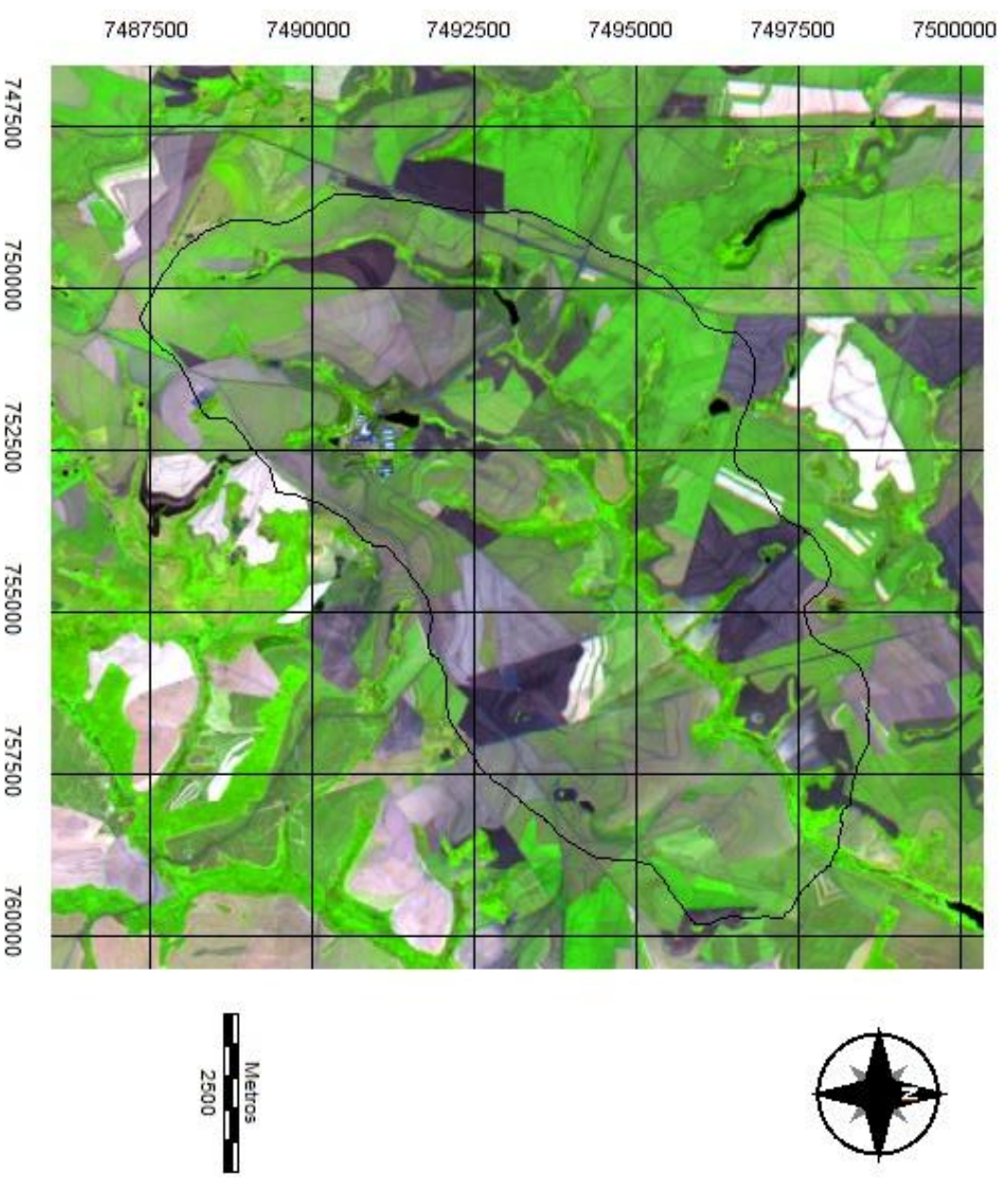
A Figura 5 destaca a localização na carta planialtimétrica de Barra Bonita da bacia hidrográfica, mostrando o ponto de descarga das vazões, ou seja, o exutório, ponto que ocorre o deságue no rio Tietê, apresentando a maior ordem, com a maior vazão.





**Figura 5.** Aproximação e destaque da área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de Barra Bonita, SP.

No estudo em questão, foi utilizada a imagem de satélite digital, bandas RGB (R- Red; G- Green; B- Blue), referentes às bandas 6, 5 e 4 do sensor OLI – Operational Land Imager do LANDSAT – 8, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 2014, escala 1:50000, na delimitação e classificação supervisionada em Tela dos usos presentes na bacia hidrográfica, além da sua quantificação, conforme a Figura 6.



**Figura 6.** Carta imagem abrangendo a bacia hidrográfica do rio Araguazinho – São Manuel, SP.

### **4.1.3 Equipamentos**

O processamento dos dados foi realizado em um microcomputador Processador Intel Inside CORE i7, 1,80 GHz, com sistema operacional de 64 bits, HD 1TB, 8GB de memória RAM. Foi utilizada uma máquina fotográfica digital Canon T2i, 18 megapixels e um GPS de Navegação Etrex Vista HGx Garmin para levantamento em campo, bem como para a verificação e confirmação “in loco” de algumas coberturas vegetais presentes na área.

### **4.1.4. Sistema de Informações Geográficas**

A conversão dos dados vetoriais em raster e o seu processamento foram realizados com auxílio do Sistema de Informações Geográficas – IDRISI, versão Selva, bem como na determinação das áreas das classes de solo, declividade e uso das terras da bacia. O software de desenho – CAD CartaLinx – foi utilizado no processo de definição e delimitação da hidrografia e APPs.

## 4.2 Métodos

### 4.2.1. Diagnóstico do meio físico

#### 4.2.1.1. Delimitação da bacia hidrográfica

No georreferenciamento foi utilizado o sistema de coordenadas planas, projeção UTM, datum Córrego Alegre, bem como dois arquivos, vários pontos de controle, sendo o primeiro da imagem digital e o outro, da carta topográfica de São Manuel e de Barra Bonita, editadas pelo IBGE. Foram determinadas as coordenadas de cada ponto e com estes dados foi feito um arquivo de correspondência, através do comando *Edit* do menu *Database Query*, presente no módulo *Analysis*.

A digitalização do limite da área foi realizada via tela do computador através do módulo de digitalização (*digitize*) no IDRISI. Para tanto, foi necessário a carta planialtimétrica, em formato digital, referente às folhas de São Manuel e Barra Bonita, ambas em escalas de 1:50.000, segundo os pontos mais elevados em torno da drenagem, tendo-se como base a definição de Rocha (1991) para bacia hidrográfica.

#### 4.2.1.2. Características Dimensionais

A caracterização dos parâmetros físico-dimensionais da área foi realizada utilizando-se do software SIG – IDRISI Selva, sendo que, para isso, foram exportados os elementos delimitados por meio do software de desenho CartaLinx e realizaram-se os cálculos através do menu GIS Analysis, ferramenta Database Query opções Area e Perim.

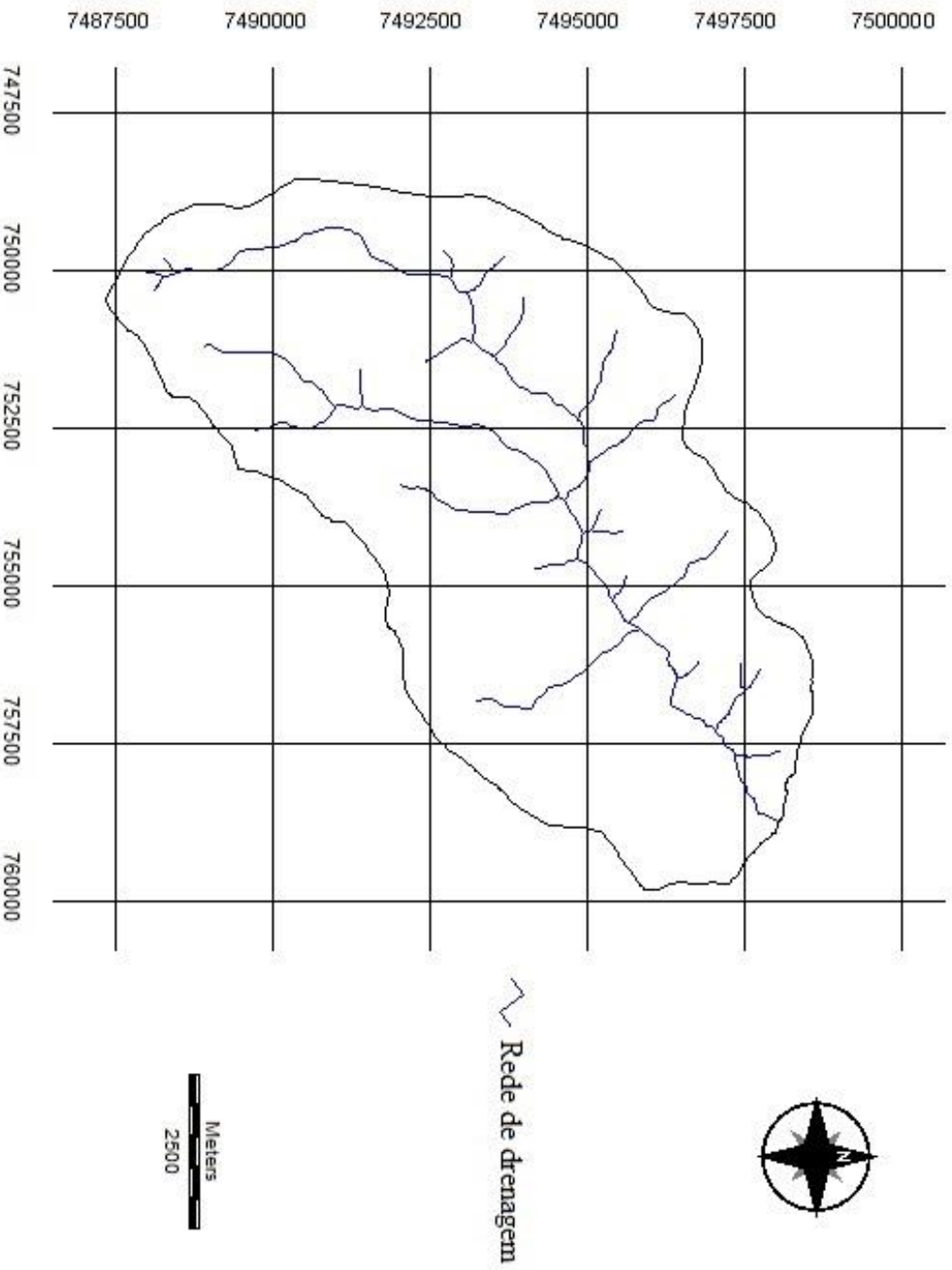
As características dimensionais da rede de drenagem, que são parâmetros quantitativos, permitem eliminar a subjetividade na sua caracterização, conforme parâmetros seguidos da metodologia citada por Oliveira e Ferreira (2001), para o cálculo do comprimento do curso de água principal (Cp), comprimento total da rede de drenagem, perímetro (P), área (A) e densidade de drenagem (Dd). Para determinação da declividade média (S) e fator de forma (Kf) foi utilizada a metodologia proposta por Wisler e Brater (1964) e Horton (1945).

A metodologia adotada para a determinação da hierarquização das

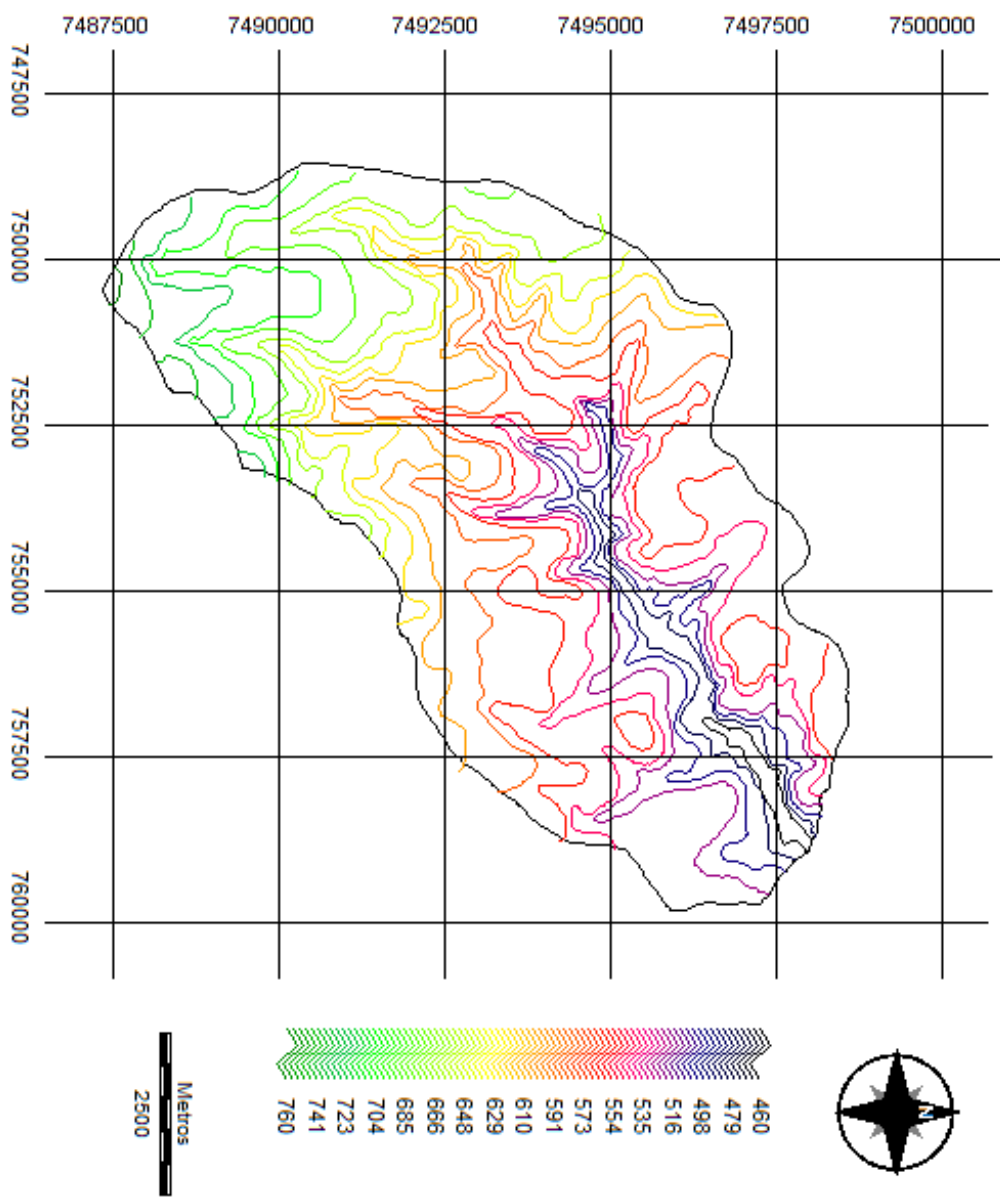
drenagens foi baseada no sistema desenvolvido por Strahler (1952).

Na determinação desses parâmetros, calculou-se o maior comprimento (C) da rede de drenagem, o comprimento do curso principal (CP), o comprimento total da rede (Cr), ou seja, a somatória do rio principal e todos os rios que compõem a bacia, o perímetro (P) dos divisores de água e a área (A) da bacia.

Nas Figuras 7 e 8, pode-se visualizar a rede de drenagem e a planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP).



**Figura 7.** Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.



**Figura 8.** Planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.



A classificação de ordenamento dos cursos mais utilizada é a proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1957), e segundo essa classificação, na definição da hierarquização da rede de drenagem, o parâmetro ordem dos canais se refere a uma classificação sobre o grau de ramificações e/ou bifurcações presentes em uma bacia hidrográfica.

Na caracterização da composição e padrão de drenagem foram analisados os seguintes parâmetros: a densidade de drenagem (Dd), a extensão do percurso superficial (Eps), a extensão média do escoamento superficial (I), a textura da topografia (Tt), o coeficiente de manutenção (Cm), a rugosidade topográfica (Rt) e o índice de forma (If), que foram determinados a partir da metodologia desenvolvida por Christofolletti (1980), sendo que o fator de forma (Kf) foi determinado pela metodologia utilizada por Almeida (2007).

#### **4.2.1.3. Obtenção do mapa de uso das terras em imagem de satélite**

Inicialmente, foi elaborada uma composição colorida com a combinação das bandas 6, 5 e 4, necessárias para a composição de cores RGB, obtidas a partir da imagem de satélite digital, do sensor OLI – Operational Land Imager do LANDSAT – 8, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 2014, escala 1:50000, pois esta apresenta uma boa discriminação visual dos alvos, possibilitando a identificação dos padrões de uso da terra de maneira lógica.

Esta composição apresenta os corpos d'água em tons azulados, as florestas e outras formas de vegetações em tons esverdeados e os solos expostos em tons avermelhados.

A seguir, realizou-se o georreferenciamento da composição, utilizando-se para isso do módulo Reformat/Resample do SIG – IDRISI, sendo os pontos de controle obtido nas cartas planialtimétricas do IBGE. Após o georreferenciamento, foi feito o corte, extraindo-se apenas a área da bacia hidrográfica.

Os usos do solo foram delimitados no software de desenho CAD CartaLinx, sendo feito um mapeamento em tela, na qual as áreas de uso e ocupação foram classificadas sobre a composição colorida, sendo ampliadas para uma melhor visualização do que representava cada feição na tela do computador.



No *software* CartaLinx, delimitou-se os usos e ocupações presentes na área através da poligonização de cada uso do solo, sendo que ao término do desenho de cada polígono, atribui-se um *polígono locator*, ferramenta esta que possibilitou a identificação, inserindo-se códigos correspondentes às classes de uso (Cana-de-açúcar = 1, Vegetação Natural = 2, Represa= 3, Agroindústria= 4, Pastagem = 5, Várzea= 6, Aeroporto=7, Tanque de vinhaça= 8, Solo exposto= 9).

Em seguida, o arquivo gerado em vetor (.vct) foi exportado para o IDRISI e posteriormente convertido em imagem raster (.rst), que representa uma matriz digital de linha e colunas.

Todas as áreas de cada uso e ocupação foram quantificadas, utilizando o comando *Area* do menu *Database Query*, pertencente ao módulo *Analysis*, sendo, posteriormente, determinadas as porcentagens de cada classe.

Em seguida, foram indicados os nomes para cada classe de uso da terra, associados aos seus respectivos identificadores, sendo a imagem classificada e os cartogramas demonstrativos da distribuição espacial de cada uso da terra com base nestes dados.

A coleta de amostras de conferência foi efetuada mediante as visitas realizadas *in loco* (Figuras 9 a 17) para sanar eventuais dúvidas das classes de uso presentes na área, visando com isso, constatar as informações adquiridas a partir da imagem de satélite. Tais visitas foram efetuadas em data próxima à de aquisição de cada uma das imagens, uma vez que o comportamento da vegetação e o uso do solo variam ao longo do ano.

Nessa visita em campo, utilizou-se um GPS de navegação, programado para obter coordenadas de longitude e latitude em Universal Transversa de Mercator (UTM) o qual indicou corretamente as coordenadas do devido uso em determinado local.

A Figura 9 mostra o visor do GPS Garmin® modelo Etrex, utilizado para coletar e indicar o uso do solo correto.



**Figura 9.** Visor do GPS de navegação Garmin® modelo Etrex, utilizado para coletar dados de campo.

A Figura 10 refere-se ao uso Represa, localizada a 751928m de longitude e 7491319m de latitude. Ao fundo da figura, identifica-se o uso Vegetação natural, e à frente, uma recomposição de vegetação natural, mostrando que no local está sendo feita um reflorestamento das matas ciliares.



**Figura 10.** Vista do uso Represa (751928m de longitude e 7491319m de latitude).

Próximo ao uso Agroindústria, o rio Araquazinho encontra-se canalizado e próximo do uso Represa, mostrando que esta foi construída artificialmente (Figura 11).



**Figura 11.** Canalização do rio Araquazinho (751963m de longitude e 7491336m de latitude).

Na Figura 12, pode-se ver uma área com declive superior a 45°, a qual se encontra preservada e separada das áreas agricultáveis, respeitando assim a legislação ambiental. Da mesma forma, observa-se na Figura 13 o uso Represa, circundado por vegetação natural, mostrando outro ponto da bacia que está ambientalmente correto.



**Figura 12.** Vestígio de vegetação natural recobrimdo área com declive superior à 45° (751880m de longitude e 7491415m de latitude).



**Figura 13.** Vegetação natural circundando a represa (750667m de longitude e 7493113m de latitude).

Em alguns pontos, como o mostrado na Figura 14, que é a saída de uma das represas, o rio Araquazinho encontra-se canalizado em certa distância até encontrar novamente o seu curso natural. Como observado na imagem, no momento em que a água do rio chega ao curso natural, este está preservado por vegetação natural.





**Figura 14.** Canal de escoamento chegando ao curso natural do rio. (750597m de longitude e 7493213m de latitude).

A Figura 15 destaca um local da bacia ocupado por cana-de-açúcar, que é o principal uso da bacia hidrográfica, mostrando o potencial agrícola da área.



**Figura 15.** Uso Cana-de-açúcar, que ocupa a maior área da bacia hidrográfica. (755163m de longitude e 7492360m de latitude).



**Figura 16.** APP margeando o rio Araquazinho. (754800m de longitude e 7494631m de latitude).

Não foi possível chegar próximo de todos os usos, como ocorreu com o uso Pastagem, por se tratar de propriedades particulares ou com acesso dificultado, sendo porém possível captar informações e imagens mesmo a uma determinada distância.



**Figura 17.** Usos Pastagem, Vegetação Natural e Cana-de-açúcar. (752512m de longitude e 7492463m de latitude).

#### 4.2.1.4. Mapeamento das áreas de preservação permanentes (APPs)

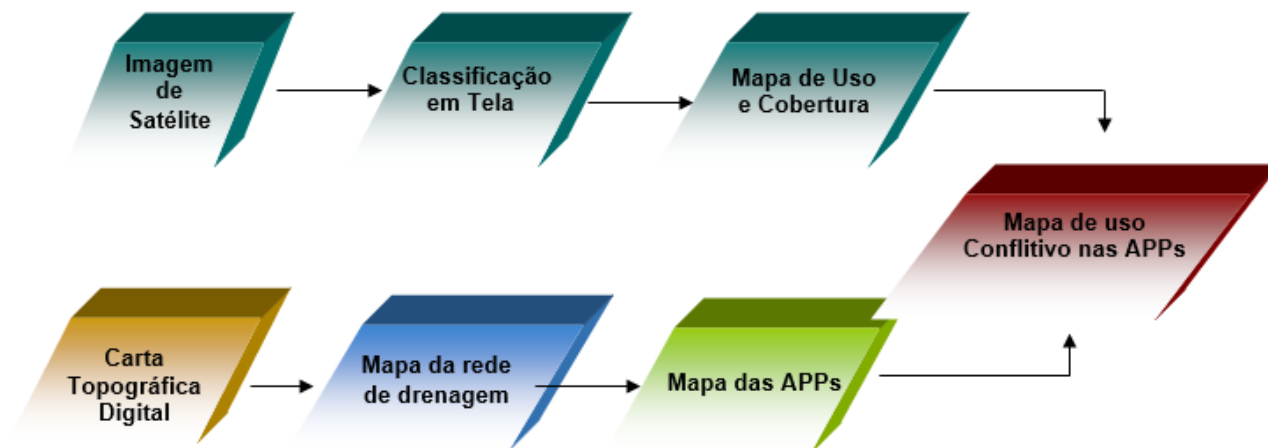
Utilizando o SIG IDRISI Selva, definiram-se as APPs marginais aos cursos d'água e ao redor das nascentes do rio Araquazinho, por meio da operação *Gis analysis* → *Distance operators* → *buffer*, que gerou um buffer de 50m de raio nas áreas das nascentes e um buffer de 30m de cada lado da drenagem ao longo do leito do rio, resultando assim no mapa de APPs.

#### 4.2.1.5. Mapas de conflitos de uso nas APPs

Para quantificar os usos inadequados, utilizou-se álgebra de mapas (mapa de uso da terra x APPs), através da sobreposição (*overlay*) do mapa de uso e cobertura da terra com o mapa das APPs para identificação das áreas de conflito de uso nas APPs, sendo um procedimento executado no IDRISI Selva por meio da opção *Mathematical operators*, do menu *Gis Analysis*, com o comando *overlay*.

Após a sobreposição desses mapas, as áreas de ocorrência dos conflitos de acordo com as classes de uso foram identificadas e devidamente mensuradas, executando as funções de cálculo de área, através da operação *Database Query* → *Area* do IDRISI Selva.

Esse procedimento permitiu a delimitação das áreas de classes de uso da terra, qualificando e quantificando as áreas que estavam contidas nos limites das APPs, conforme procedimento metodológico (Figura 18).



**Figura 18.** Fluxograma metodológico para delimitação das áreas de conflitos de uso nas APPs.

#### 4.2.1.6. Comprimento da rede de drenagem (Cr):

Sobre as das cartas planialtimétricas e imagens provenientes do satélite LANDSAT-8, referente ao ano de 2014, sobrepôs-se a rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP), no Sistema de Informação Geográfica (SIG) IDRISI - Selva, que calculou o comprimento total da drenagem.

#### 4.2.1.7. Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é um parâmetro físico considerado por muitos autores como fundamental, pois caracteriza o padrão de drenagem através da relação entre o comprimento total da rede de drenagem (Cr) e sua área (A), como representado na expressão abaixo, conforme proposto por França (1968) na equação 1:

$$\boxed{Dd = \frac{Cr}{A}} \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem (Km/Km<sup>2</sup>);

Cr = Comprimento da rede de drenagem (Km);



A = Área das bacias hidrográficas (Km<sup>2</sup>), que será obtida através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi – Selva.

Uma bacia com baixo valor de “Dd” pode indicar rochas resistentes, solo muito permeável, cobertura vegetal densa ou relevo suave, com concomitância possível. Por outro lado, um alto valor de “Dd” pode indicar rochas pouco resistentes, solo impermeável, pequena cobertura vegetal ou relevo acidentado, podendo também existir concomitância entre eles.

Esse parâmetro é importante no estudo de bacia hidrográfica por definir sua representação topográfica. França (1968) classificou a densidade de drenagem da seguinte forma, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.** Intervalo de valores para densidade de drenagem e respectiva classificação.

Densidade de drenagem (Dd) em km/km <sup>2</sup>	Classificação
<1,5	Baixa
1,5 a 2,5	Média
>2,5	Alta

Fonte: França (1968)

#### 4.2.1.8. Declividade Média (H)

Segundo Mota (1981), a declividade média do terreno (Equação 2) é um parâmetro essencial para estudar os picos de enchentes e a infiltração de água no solo. Com este índice, é possível determinar o escoamento da água das chuvas, de tal forma que, quanto maior o declive, maior o escoamento superficial e, conseqüentemente, maiores serão os riscos de erosão.

$$H = \frac{D \cdot L}{A}$$

.....Eq. 2

Onde:

H = Declividade média da bacia hidrográfica (%);

D = Equidistância vertical das curvas de nível (Km);

L = Comprimento total das curvas de nível da bacia hidrográfica (Km);

A = Área da bacia hidrográfica (Km<sup>2</sup>).

Para Chiarini e Donzelli (1973), estudando o levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do estado de São Paulo, a definição das classes de declive considerando os tipos de relevo é a seguinte (Tabela 3).

**Tabela 3.** Classes de declive segundo o relevo, de acordo com Chiarini e Donzelli (1973).

<b>Classes de Declive (%)</b>	<b>Relevo</b>
0 a 12	Plano Ondulado
12 a 20	Forte Ondulado
20 a 40	Acidentado
> 40	Montanhoso

#### **4.2.1.9. Coeficiente de Rugosidade (RN)**

Segundo Rocha (1997), o coeficiente de rugosidade é um parâmetro que direciona as terras rurais para um uso potencial. Assim, pode-se dividir a bacia em quatro classes de uso da terra:

A = Solos apropriados para agricultura (menor valor de RN);

B = Solos apropriados para pastagens (pecuária);

C = Solos apropriados para pastagens/reflorestamentos; e,

D = Solos apropriados para reflorestamentos (maior valor de RN).

As classes “A”, “B”, “C” e “D”, para caracterização do uso potencial da terra de cada bacia hidrográfica, foram obtidas através do cálculo da amplitude, que é a diferença entre o maior e o menor valor de RN encontrado para as bacias hidrográficas, e o intervalo de domínio, que é a relação entre a amplitude dividida por quatro.

De acordo com este mesmo autor, o coeficiente de rugosidade é dado pela multiplicação da densidade de drenagem pela declividade média (Equação 3).

$$RN = Dd \times H$$

.....Eq. 3

Onde:

RN = Coeficiente de rugosidade (Adimensional);

Dd = Densidade de drenagem (Km/Km<sup>2</sup>); e,

H = Declividade média (%).

A partir da análise de trinta e cinco microbacias hidrográficas, pertencentes à bacia do rio Araguari, em Minas Gerais, Deamo et al. (2009) subdividiu os coeficientes de rugosidade, gerando uma amplitude das classes caracterizadas por Rocha (1997), facilitando a interpretação dos padrões referentes aos coeficientes de rugosidade, quanto ao melhor uso e ocupação dos solos na bacia (Tabela 4).

A Tabela 4 mostra que quanto maior o valor de “CR”, maiores serão as probabilidades de ocorrer erosões. Além disso, os coeficientes de rugosidade, comparados com o uso da terra, podem ser utilizados para determinar as áreas de conflitos nas bacias hidrográficas, sendo que a bacia que apresenta uso da terra da classe I é a mais plana e com solo mais fértil, já a de classe V, a mais declivosa e solo menos fértil.

**Tabela 4.** Bacias e respectivos Coeficientes de Rugosidade (RN).

Valor do RN	Classe RN	Coeficiente de Rugosidade (RN)
1,09 até 10,63	A	Agricultura
10,64 até 20,18	B	Pastagem
20,19 até 29,73	C	Pastagem/ Florestamento
20,74 até 39,28	D	Florestamento

Fonte: Deamo (2009).

#### 4.2.1.10. Índice de Circularidade (Ic)

O índice de circularidade é determinado pela relação entre a área da bacia (A) e a área do círculo de perímetro igual ao da bacia (Ac) (Equação 4) conforme Christofolletti (1980).

$$IC = A / Ac$$

.....Eq. 4

Onde:

IC = Índice de circularidade (adimensional);

A = Área da bacia hidrográfica (ha ou km<sup>2</sup>);

Ac = Área do círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica considerada (ha ou km<sup>2</sup>);

De acordo com Christofolletti (1980), a área do círculo tem um perímetro C, igual ao perímetro P da bacia, o índice de circularidade pode ser obtido a partir da seguinte expressão (Equação 5):

$$IC = 4 \pi A / P^2$$

.....Eq. 5

Onde:

IC = Índice de circularidade (adimensional);

A = Área da bacia hidrográfica (ha ou km<sup>2</sup>);

P = Perímetro bacia hidrográfica (km);

Quanto maior for o valor do índice de circularidade, maior será o perigo de enchentes, devido a maior concentração de água no tributário principal. Nestes casos, as bacias hidrográficas deverão ser mais protegidas com cobertura florestal e será necessária a utilização de técnicas de conservação do solo.

Podemos observar a partir da Tabela 5 que, quanto maior os índices de forma e de circularidade, mais arredondado será o formato da bacia hidrográfica, havendo uma relação direta com a declividade da mesma, promovendo um escoamento superficial de água mais eficaz e rápido, podendo ocasionar em erosões laminares por onde a água passa, maiores alagamentos de rios e enchentes ocasionadas pela alta velocidade que a água irá adquirir, aumentando assim a vazão. Não sendo o rio capaz de suportar tal vazão, ocorrem as cheias.

**Tabela 5.** Intervalo de valores para interpretação dos resultados quanto aos índices de forma (If) e de circularidade (Ic).

Índice de forma (If)	Índice de circularidade (Ic)	Formado da bacia	Tendência à enchente
< 0,75	1,00 – 0,80	Circular	Alta
0,75 – 0,50	0,80 – 0,60	Ovalada	Mediana
0,50 – 0,30	0,60 – 0,40	Oblonga	Baixa
< 0,30	<0,40	Comprida	Tendência à conservação

Adaptado de Villela e Mattos (1975).

#### 4.2.1.11. Índice de forma (IF)

O índice de forma (IF) relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (do exutório ao ponto mais longínquo do canal principal).

No mapa da rede de drenagem, são demarcados os córregos presentes. Assim, é feito um desenho geométrico semelhante com o formato da bacia hidrográfica, podendo ser calculado através da Equação 6, conforme (VILLELA; MATTOS, 1975):

$$\boxed{IF = A / L^2} \dots\dots\dots Eq. 6$$

Onde:

- If = Índice de forma (adimensional);
- A = Área da bacia hidrográfica (ha);
- L = Comprimento do eixo da bacia (Km);

Quanto maior for o valor do índice de forma, mais circular será a bacia hidrográfica. Porém, as bacias hidrográficas de formato retangulares ou triangulares são menos susceptíveis a enchentes que as circulares, ovais ou quadradas, que têm maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal.

#### 4.2.1.12. Coeficiente de Compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius (Kc) é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual a da bacia (Equação 7).

$$K_c = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots \text{Eq. 7}$$

Onde:

Kc = Coeficiente de compacidade (adimensional);

P = Perímetro da bacia hidrográfica (Km);

A = Área da bacia hidrográfica (Km<sup>2</sup>).

De acordo com Villela e Mattos (1975) na Tabela 6, esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular. Se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente.

**Tabela 6.** Intervalo de valores para interpretação dos resultados do Coeficiente de compacidade (Kc).

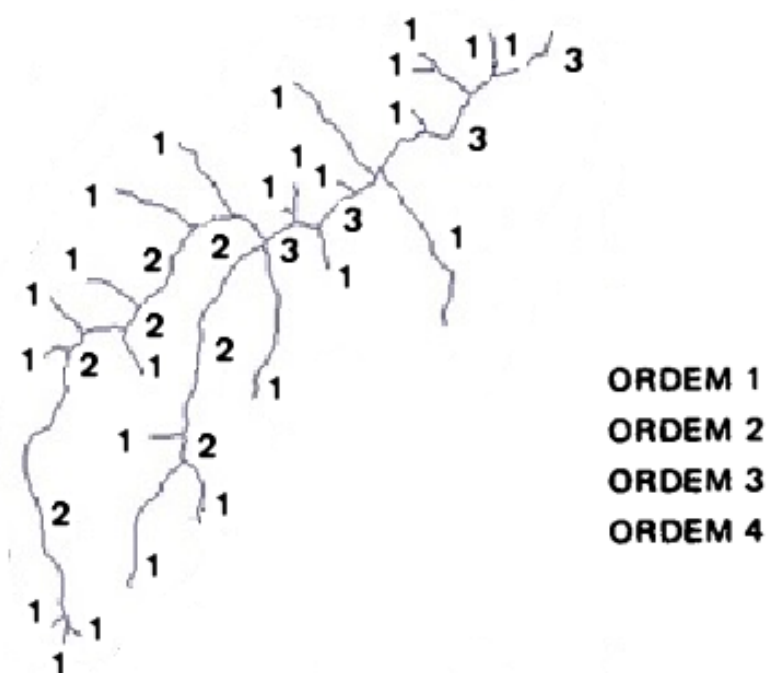
Coeficiente de compacidade (Kc)	Formato da bacia
1 – 1,25	Redondas para ovaladas
1,25 – 1,50	Ovaladas
1,50 – 1,70	Oblongas

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975).

#### 4.2.1.13. Sistema de Drenagem

O método definido por Strahler (1957) propôs que a hierarquização se inicia com os rios de 1ª ordem, que são aqueles que não recebem nenhum afluente. Dois rios de primeira ordem já bastam para que, a partir de sua confluência, seja formado um rio de segunda ordem.

De acordo com a Figura 19, que utiliza o método de Strahler (1957), os cursos primários recebem o número 1, a união de 2 de mesma ordem dá origem a um curso de ordem superior, e a união de 2 de ordens diferentes faz com que prevaleça a ordem do maior. Quanto maior  $R_b$  média, maior o grau de ramificação da rede de drenagem de uma bacia e maior a tendência para o pico de cheia.



**Figura 19.** Sistema de drenagem a partir da ordem dos cursos d'água na bacia hidrográfica do rio Araquazinho.

#### 4.2.1.14. Extensão de Percurso Superficial (EPS)

Segundo Horton (1945), a extensão do percurso superficial (EPS), representa a distância média percorrida pelas águas pluviais (Equação 8).

$$\text{EPS} = (1/2.Dd).1000$$

.....Eq. 8

Onde:

EPS= Extensão de Percurso Superficial (m);

Dd = Densidade de Drenagem (Km/Km<sup>2</sup>).

#### 4.2.1.15. Gradiente de Canais (GC)

O gradiente de canais (GC) indica a declividade dos cursos d'água (Equação 9) (FREITAS, 1952).

$$\text{GC} = \text{Hmáx}/\text{L}$$

.....Eq. 9

Onde:

GC= Gradiente de canais (%);

H.máx = Altitude Máxima (Km);

L= Comprimento do Canal Principal (Km).

#### 4.2.1.16. Índice de Sinuosidade (IS)

O índice de sinuosidade, segundo Freitas (1952), indica os formatos dos canais, considerando o comprimento do canal principal e dividindo-o pelo comprimento vetorial desse mesmo canal, sendo que valores < 1,0 = canais retilíneos e valores > 2,0 = canais sinuosos.

$$\text{IS} = \text{L}/\text{LV}$$

.....Eq. 10

Onde:

IS= Índice de Sinuosidade (Adimensional);



L = Comprimento do canal principal (Km);

LV = Comprimento vetorial do canal principal (Km).

#### 4.2.1.17. Razão de Relevo (Rr)

A razão de relevo é a relação entre a diferença de altitude dos pontos extremos da bacia e seu comprimento (Equação 11) (SCHUMM, 1956).

Para Carvalho (1981), a razão de relevo demonstra que, quanto maiores os valores, mais acidentado será o relevo na região. Quanto maior a razão de relevo, maior será a declividade geral da bacia, portanto maior será a velocidade da água a escoar no sentido de seu maior comprimento. Piedade (1980) utilizou os seguintes valores para quantificar a razão de relevo: Razão de relevo baixa - 0,00 a 0,10; média - 0,11 a 0,30 e alta - 0,31 a 0,60.

$$\boxed{Rr = Hm / L} \dots\dots\dots \text{Eq. 11}$$

Onde:

Rr= Razão do Relevo (Km/Km)

Hm= Amplitude Altimétrica Máxima (Km);

L= Comprimento do canal principal (Km).

#### 4.2.1.18. Frequência de rios (F)

Segundo Horton (1945) a frequência de rios pode ser calculada a partir da relação entre o número total de segmentos de rio (Nt) e a área da bacia em quilômetros quadrados (A) (Equação 12). O resultado é expresso pelo número de segmentos por quilômetro quadrado na seguinte equação:

$$\boxed{Fr = Nt / A} \dots\dots\dots \text{Eq. 12}$$

Onde:

Fr = Frequência de rios (Adimensional);

Nt = Número de rios (quantidade);

A = Área da bacia (Km<sup>2</sup>)

A frequência de rios, ou densidade hidrográfica, é um valor que demonstra a magnitude da rede hidrográfica, assim como a capacidade da bacia gerar novos cursos d'água, sendo determinantes as características pedológicas, geológicas e climáticas locais (FREITAS, 1952).

#### 4.2.1.19. Coeficiente de manutenção (Cm)

O coeficiente de manutenção é o índice que calcula o mínimo de área necessário para a manutenção dos canais presentes na bacia, sendo calculado a partir do inverso da densidade de drenagem, e multiplicando esse valor por 1000 (Equação 13).

$$Cm = (1/ Dd) \times 1000$$

.....Eq. 13

Onde:

Cm= Coeficiente de manutenção (Km/Km<sup>2</sup>);

Dd= Densidade de Drenagem (Km/Km<sup>2</sup>)

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Análise Ambiental**

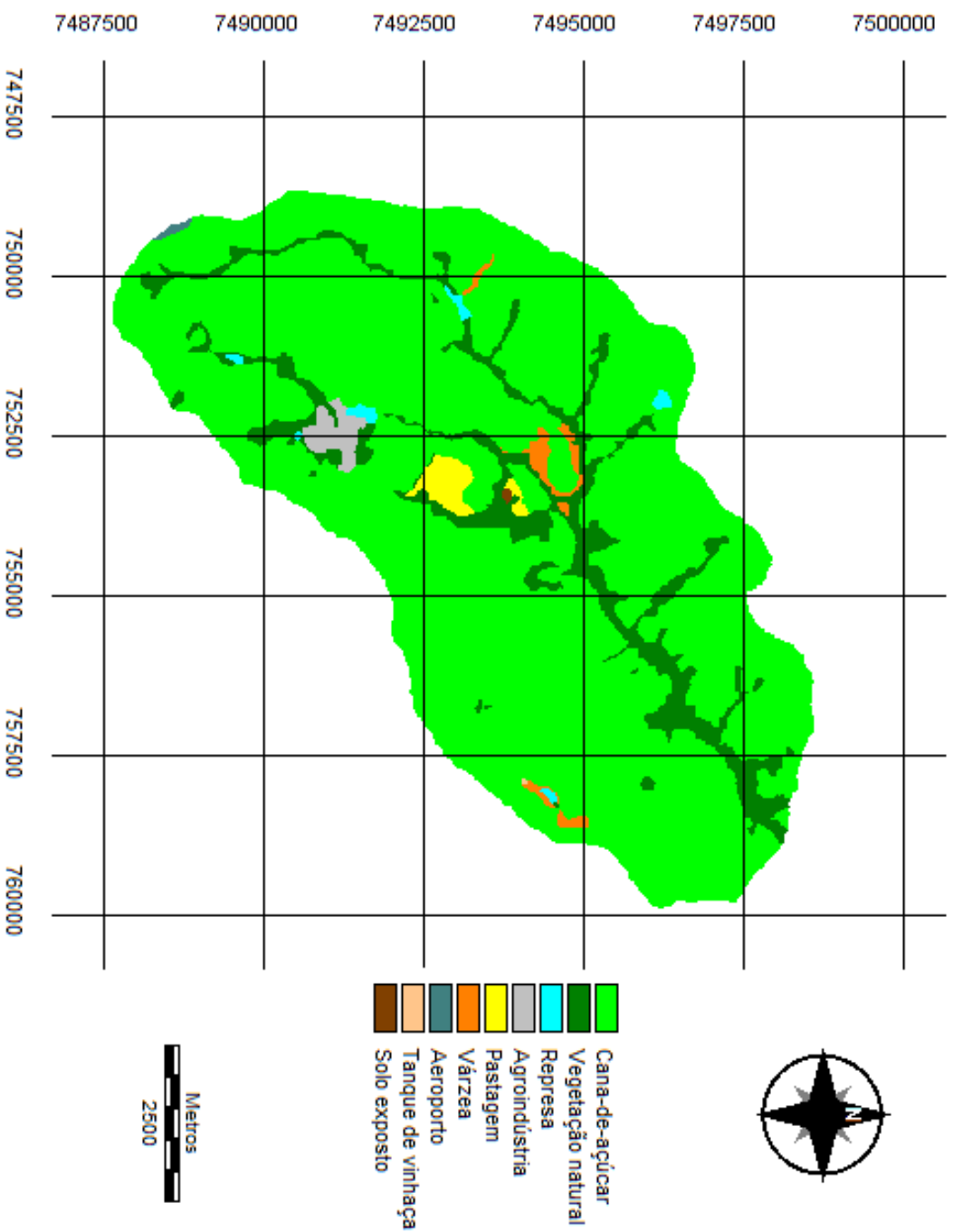
No município de São Manuel, desde sua fundação em 1870, sempre houve um aproveitamento agrícola, sendo que sua economia foi baseada na agricultura, principalmente a cultura de café (IBGE, 2016).

De acordo com os dados obtidos nesse trabalho, a partir da análise do mapa de uso e ocupação do solo, até os dias atuais, a agricultura é predominante no município.

Devido ao grande aproveitamento agrícola, ao clima e topografia favoráveis para esta, as áreas de vegetação natural apresentam-se apenas em vestígios da cobertura vegetal original, cedendo lugar para as principais culturas, como a da cana-de-açúcar, que ocupa 86,82% da área estudada.

Por meio da composição das bandas 6,5 e 4 em RGB obtidas a partir da imagem de satélite digital, foi possível discriminar, mapear e quantificar 9 feições na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP) por meio da classificação digital em tela (verdade terrestre) (Figura 20 e Tabela 7), que mostra a realidade do uso da área.

O SIG- IDRISI permitiu classificar que as classes de uso discriminadas estão representadas por: cana-de-açúcar, vegetação natural, represa, agroindústria, pastagem, várzea, aeroporto, tanque de vinhaça e solo exposto. (Figura 20).



**Figura 20.** Uso e ocupação do solo da bacia do rio Araguazinho – São Manuel, SP obtida pela imagem de satélite de 2014.

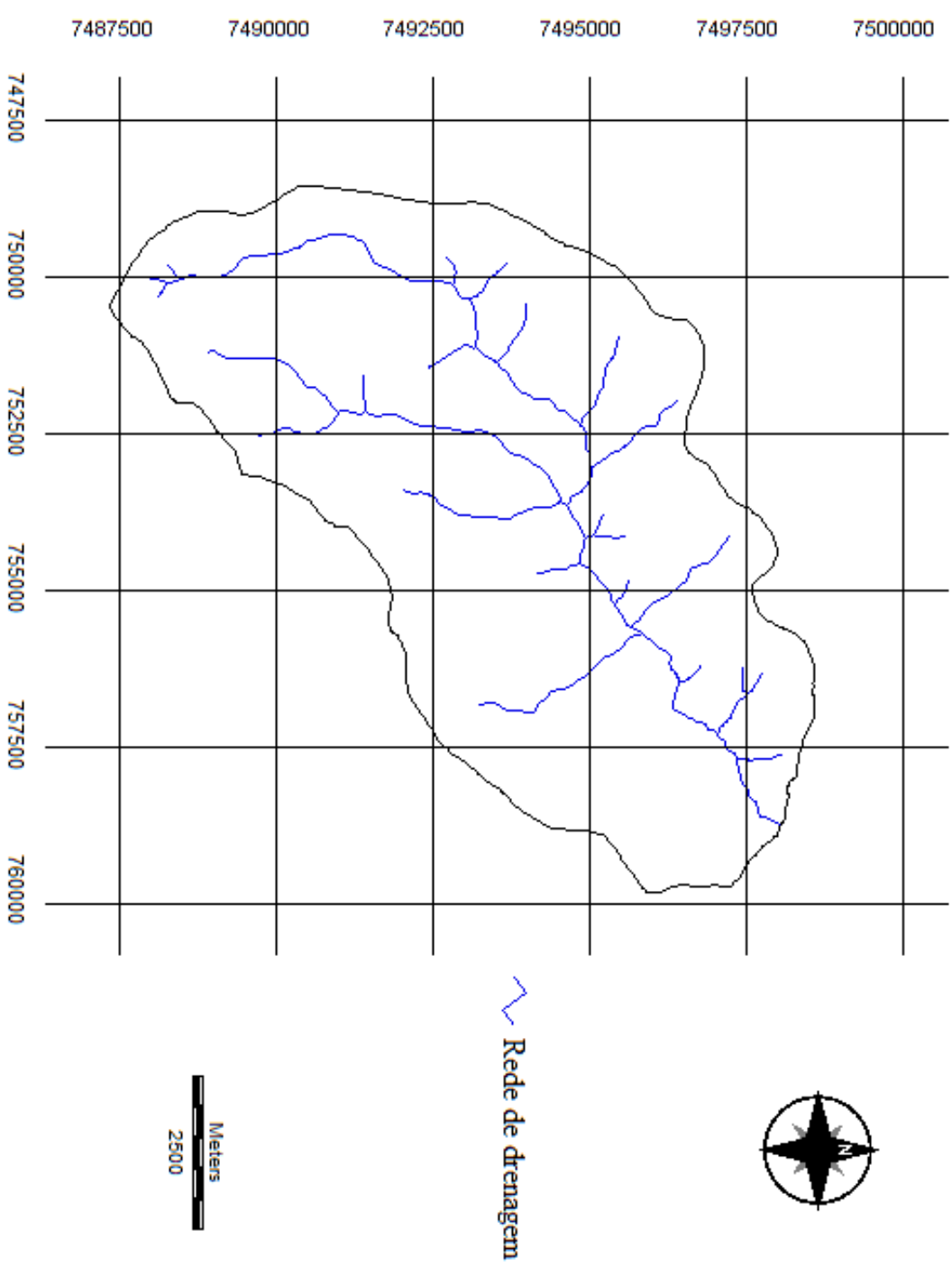
**Tabela 7.** Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.

Uso do Solo	2014	
	Imagem de Satélite	
	Há	%
Cana-de-açúcar	5815,63	86,82
Vegetação Natural	660,82	9,87
Represa	30,39	0,45
Agroindústria	56,94	0,85
Pastagem	63,39	0,95
Várzea	60,36	0,90
Aeroporto	7,05	0,11
Tanque de Vinhaça	0,79	0,01
Solo exposto	2,74	0,04
<b>TOTAL</b>	<b>6698,12</b>	<b>100</b>

Por meio da análise do uso do solo (Figura 20 e Tabela 7) evidenciou-se que a cana-de-açúcar é a cultura que ocupa a maior parte da área, representando 86,82% (5815,63 ha), sendo o restante da bacia (882,49 ha ou 13,18%) ocupada por vegetação natural (9,87%), represa, também denominada corpos de água artificiais (0,45%), agroindústria (0,85%), pastagem (0,95%), várzea (0,90%), aeroporto (0,11%), tanque de vinhaça (0,01%) e solo exposto (0,04%). Conforme o código florestal, várzea pode ser destinada para Reserva Legal e APP, assim como a vegetação natural. Assim, na área em questão, os usos várzea e vegetação natural ocupam 721,18 ha (10,77%) do total da bacia hidrográfica.

Os dados obtidos permitiram também analisar a respeito da preservação ambiental da bacia do rio Araquazinho, que não está ambientalmente conservada, pois as áreas que podem ser consideradas de Reserva Legal, de grande importância em termos de preservação ambiental, representaram apenas 10,77% da área, sendo que de acordo com o Código Florestal, a reserva mínima de florestas deve ser de 20% com cobertura arbórea da área de cada propriedade.

A partir da vetorização dos cursos d'água, obteve-se o mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho (Figura 21), sendo este de fundamental importância para os cálculos das características físicas.

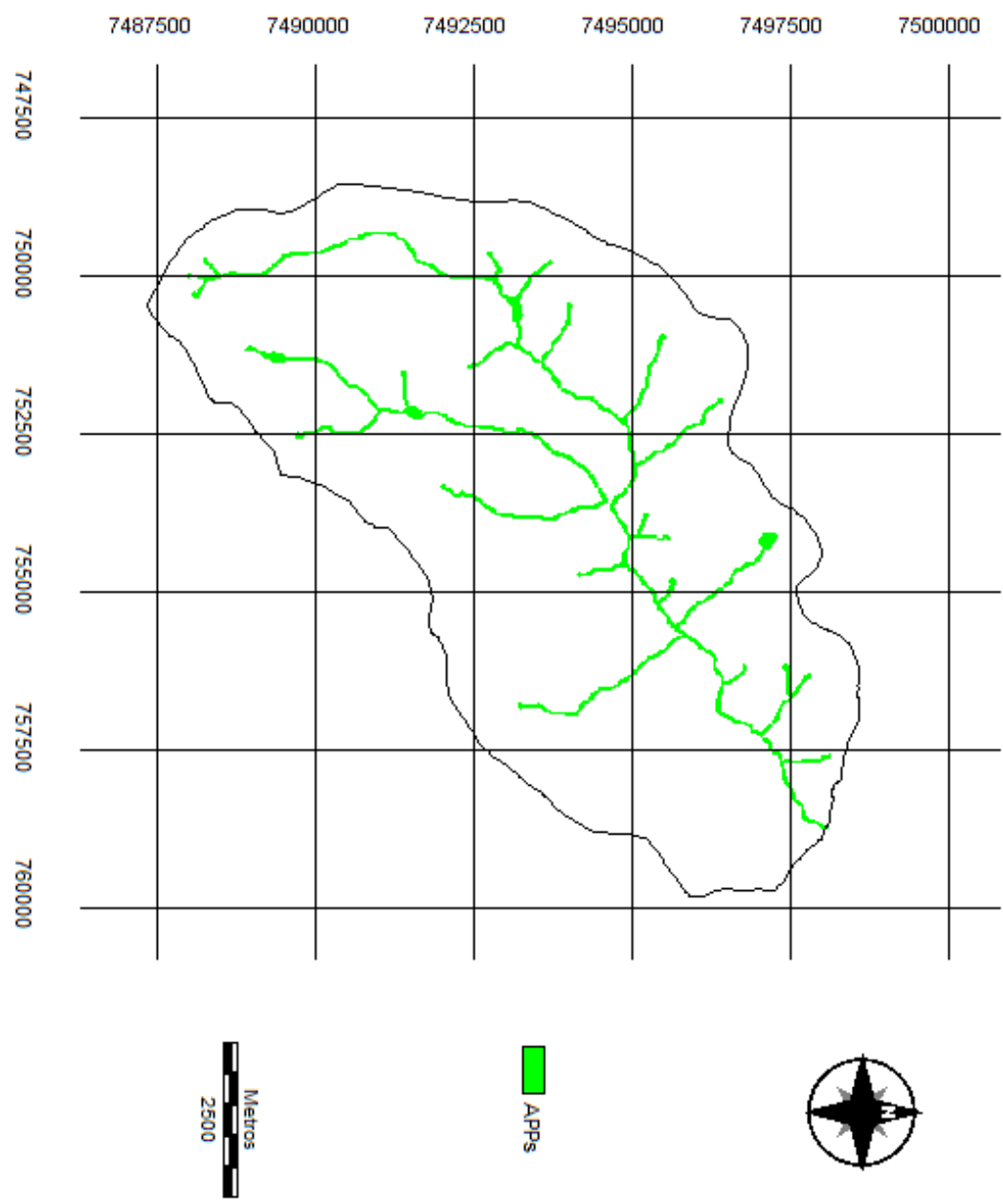


**Figura 21.** Rede de drenagem da bacia do rio Araquazinho, obtida das Cartas Planialtimétricas de São Manuel e Barra Bonita.

Após a delimitação da rede de drenagem, foram estabelecidas as APPs, a partir da ferramenta *buffer* do *software* Idrisi, sendo quantificada essa área, que corresponde a 303,22 ha (4,53%) de toda a área da bacia (Figura 22).

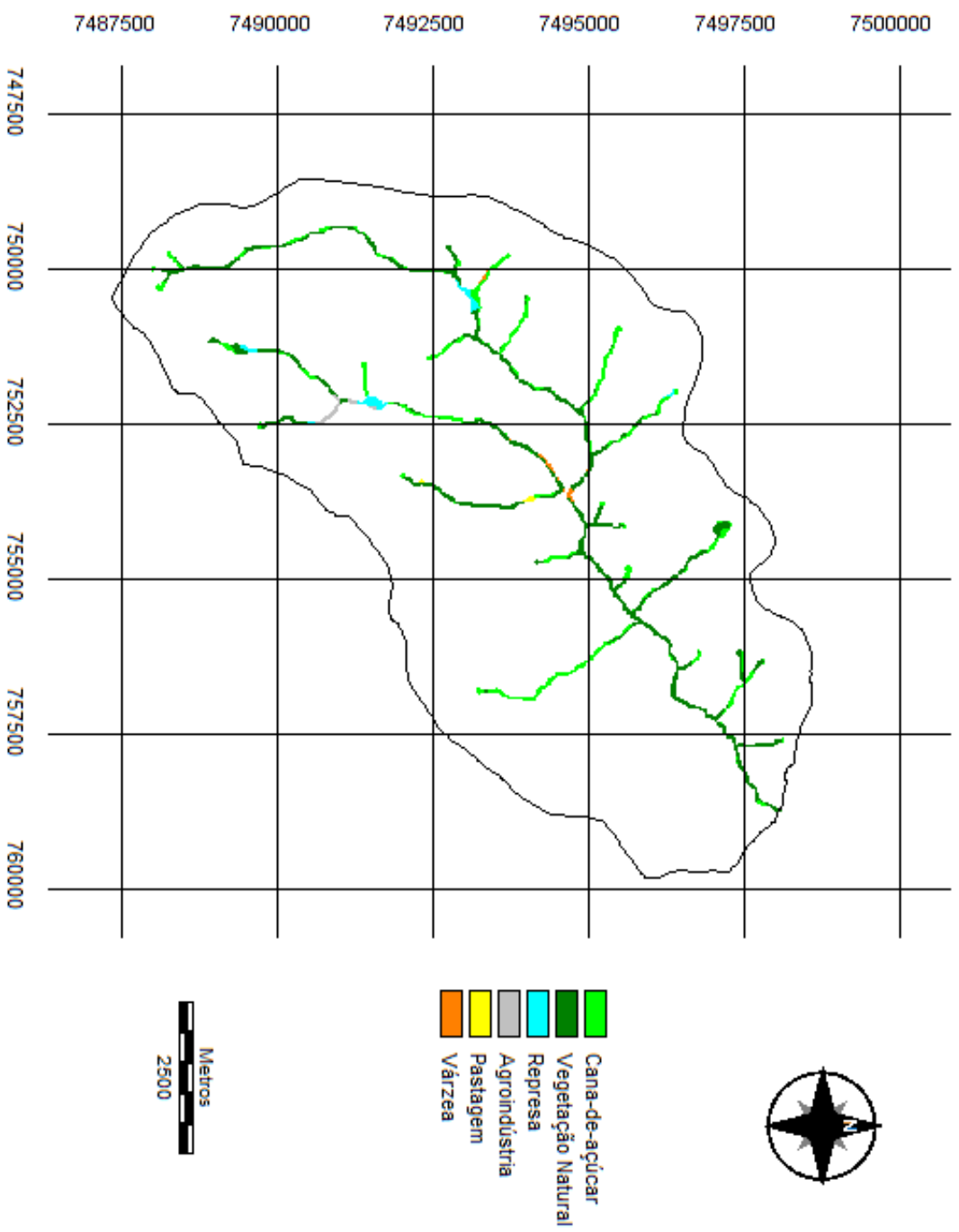
Na Figura 22 é possível visualizar as Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP). Destes 303,22 ha de APPs, 11,09ha (3,66%) correspondem a nascentes e 292,13ha (96,34%) a cursos d'água.





**Figura 22.** Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia.

Após o término do mapa de APPs, agora com os cursos d'água e as nascentes, cada qual com sua metragem correta de preservação, segundo a legislação ambiental vigente, cruzou-se o mapa de APP (Figura 22), com o mapa de uso e ocupação do solo (Figura 20), para verificar os usos incorretos nas APPs, resultando assim no mapa de uso e ocupação do solo em APPs (Figura 23).



**Figura 23.** Uso e ocupação do solo em APPs na bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP.

**Tabela 8.** Uso do solo nas APPs da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.

Uso do solo	Uso do solo em APPs	
	ha	%
Cana-de-açúcar	103,33	33,75
Vegetação Natural	175,13	57,76
Represa	14,14	4,66
Agroindústria	5,78	1,91
Pastagem	1,59	0,53
Várzea	4,25	1,40
<b>TOTAL</b>	<b>303,22</b>	<b>100</b>

A Figura 23 e a Tabela 8 mostram as áreas de uso e ocupação do solo em APP, onde uma grande parte das Áreas de Preservação Permanentes (109,70 ha) está sendo usada para fins que não podem ser considerados de preservação, como: 33,75% com cana-de-açúcar, 1,91 % com agroindústria e 0,53% com pastagem. Do restante da área, 57,76% vem sendo preservada com vegetação natural, e ocupada com represa (4,66%) e várzea (1,40%), sendo que estas não são conflitantes, diferentes daquelas citadas anteriormente.

Com base no estudo dos usos e ocupação em APPs foi possível observar que áreas que deveriam ser ocupadas apenas por mata ciliar (303,22ha) estão sendo ocupadas para outros fins. Conforme observamos na Tabela 8, 36,19 % (109,73ha) do total das APPs estão sendo ocupadas por usos que não são de vegetação natural, como 103,33 ha de cana-de-açúcar (33,75%) principalmente e 5,78 ha de agroindústria (1,91%).

Esses dados comprovam como a agricultura é importante na região e no estado de São Paulo, principalmente com a cultura de cana-de-açúcar, que foram implantadas, em sua maioria, nos relevos planos do estado nos últimos 40 anos, em detrimento ao alto retorno econômico da cultura, desde a implantação do programa Proálcool, quando houve incentivo do governo, devido à crise do petróleo.

Essas plantações foram implantadas em locais planos, com bons solos, ou seja, favoráveis para a cultura, porém muitas vezes, não respeitando a legislação ambiental, em alguns casos, por desconhecimento dos próprios agricultores.

## **5.2. Caracterização Morfométrica**

A partir do estudo dos parâmetros morfométricos da área, conforme apresentado na Tabela 9, foi possível identificar, juntamente com o estudo feito anteriormente da degradação ambiental, o quanto a área necessita de conservação ambiental.

**Tabela 9.** Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Araquazinho - São Manuel, SP.

<b>Características físicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultados</b>
<b>Parâmetros dimensionais da bacia</b>		
Área (A)	Km <sup>2</sup>	66,98
Perímetro (P)	Km	37,03
Comprimento do Rio Principal (C)	Km	13,56
Maior Largura (L)	Km	7,25
Comprimento da rede de drenagem total (Cr)	Km	48,46
Comprimento axial	Km	9,68
Comprimento das curvas de nível (Cn)	Km	290,84
<b>Características do relevo</b>		
Coefficiente de compacidade (Kc)	---	1,27
Índice de forma (If)	---	0,72
Índice de circularidade (Ic)	---	0,61
Declividade média (D)	%	8,68
Altitude média (Hm)	M	570
Maior altitude (MA)	M	660
Menor altitude (mA)	M	480
Amplitude altimétrica (H)	M	180
Coefficiente de Rugosidade (RN)	---	6,28
<b>Padrões de drenagem da bacia</b>		
Ordem da microbacia (W)	---	3 <sup>a</sup>
Densidade de drenagem (Dd)	(km/km <sup>2</sup> )	0,72
Extensão do Percurso Superficial (Eps)	M	361,72
Gradiente de Canais (Gc)	%	4,73
Índice de Sinuosidade (Is)	-	1,44
Frequência de Rios (Fr)	-	0,67
Razão de Relevo	Km/km	0,013
Coefficiente de Manutenção	Km/Km <sup>2</sup>	1,38

A análise dos resultados obtidos para a bacia hidrográfica do rio Araquazinho, com base na análise morfométrica, quanto ao quesito dimensão, mostrou que

a área da bacia é de 66,98 Km<sup>2</sup> (6698,12ha), o perímetro de 37,03 km e o fluxo de água se dá na direção N-S da bacia, com um comprimento, em sua maior extensão (C), de 13,56 km, maior largura (L) da bacia, de 7,25 Km, e comprimento axial de 9,68 Km.

O comprimento total da rede de drenagem é de 48,56 km, mostrando a riqueza hídrica no rio Araquazinho, que é um rio de 3<sup>a</sup> ordem, apresentando quantidade de água que pode ser utilizada para a sustentação dos seres vivos e irrigação da agricultura presente na bacia.

Os dados dimensionais obtidos foram cruciais para a execução dos cálculos posteriores, pois proporcionaram a base geral de uma bacia hidrográfica para qualquer cálculo morfométrico.

O índice de forma (If) obtido pelo rio Araquazinho foi de 0,72, indicando um alto valor do índice de forma, mostrando que a bacia tem um formato circular, apresentando um alto risco de incidência de enchentes.

O formato é caracterizado fisicamente por parâmetros que relacionam com formas geométricas conhecidas, como o fator de forma que relaciona a um retângulo e o coeficiente de compacidade que relaciona a um círculo. Assim, a forma é um parâmetro importante na determinação do tempo de concentração da água, pois determina o tempo necessário para que toda a bacia contribua na saída da água após uma precipitação, sendo que quanto maior o tempo de concentração, menor será a vazão máxima de enchentes.

O cálculo do coeficiente de compacidade (Kc) apresentou um resultado de 1,27, indicando que a bacia é oval, o que também já foi comprovado pelo índice de forma alto (0,72). Esses resultados combinados permitem afirmar que a bacia, em condições normais de precipitação, é altamente susceptível a enchentes, devido ao formato circular.

O índice de circularidade (Ic) de 0,61 ressaltou que a bacia possui forma oval, comprovando com isso, o resultado já obtido com o índice de forma e o coeficiente de compacidade.

A densidade de drenagem (Dd) de 0,72 km/km<sup>2</sup>, demonstra que na bacia hidrográfica do rio Araquazinho, a cada quilômetro quadrado da bacia, é encontrado 0,72 km de rios, mostrando que, em comparação com a quantidade de área, a bacia apresenta poucos cursos d'água.

Conforme Christofolletti (1980), a densidade de drenagem da bacia

é baixa, pois o valor é menor que  $7,5 \text{ km/km}^2$ , o mesmo quanto aos parâmetros de Villela e Mattos (1975), mostrando-se pobre de drenagem por apresentar menos de  $3,5 \text{ km/km}^2$ .

A bacia hidrográfica do rio Araquazinho apresenta 0,67 segmentos de rios em cada quilômetro quadrados da área (Frequência de rios (Fr)), enquanto sua razão de relevo é de 0,013 km de rios por km de relevo, mostrando que a bacia em questão apresenta uma baixa razão de relevo, ou seja, pouca declividade geral da bacia, e com isso, mesmo a área sendo circular, a velocidade de escoamento de água será pequena, e conseqüentemente há pequena vazão.

A presença de rochas com grandes fissuras, o que facilita a infiltração da água para camadas mais inferiores, é demonstrada a partir dos baixos valores de densidade de drenagem (Dd), frequência de rios (Fr) e Razão de relevo, diminuindo assim o escoamento superficial e o risco de erosão e degradação ambiental, pois caso o contrário ocorra, quanto maiores esses valores, maiores as possibilidades de erosão.

Assim, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do rio Araquazinho apresenta baixa drenagem. Características como as mostradas por esses valores estão localizadas em regiões de rochas e solos mais ricos e permeáveis, como por exemplo, Nitossolos e Latossolos, os mais comuns na região estudada. Assim, mesmo sendo uma bacia circular, apresenta uma boa permeabilidade, o que pode evitar a ocorrência de alagamentos.

A sinuosidade, um dos fatores controladores da velocidade de escoamento do canal, quanto mais próximo da unidade, demonstra que o rio acompanha moderadamente a linha do talvegue: ou seja, este apresenta uma sinuosidade moderada (1,44).

O valor médio da extensão do percurso superficial (EPS) mostra que a água percorre 361,72 metros em escoamento normal e juntamente com o coeficiente de manutenção de  $1,38 \text{ Km/Km}^2$  (necessita de  $1 \text{ Km}^2$  para manter  $1,38 \text{ Km}$  de rio), confirmam a presença de solos permeáveis na bacia, mostrando que a área é bem drenada e com bons solos, contribuindo para a infiltração e diminuindo a velocidade do escoamento superficial.

A diferença de cotas altimétricas (Amplitude altimétrica (H)) na área é de 180 metros, sendo considerada baixa, resultando assim em uma baixa declividade.



A declividade média na bacia do rio Araquazinho – São Manuel (SP), da ordem de 8,68 % permitiu classificá-la segundo Chiarini e Donzelli (1973) como plano ondulado, sendo apropriada para o uso de pastagens, culturas anuais, podendo ser também exploradas com culturas perenes, que protegem o solo (café, laranja, cana-de-açúcar, leguminosas como forma de adubação verde, etc.).

Por possuir pouca declividade, a bacia apresenta 290,84 Km de curvas de nível (Cn) ou seja, por ser mais plano não são necessárias tantas curvas de nível, sendo Cn um reflexo da declividade.

Quanto maior a diferença de cotas altimétricas, ou seja, quanto maior a declividade da área, maiores serão os processos erosivos, devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que conseqüentemente reduz a infiltração das águas das chuvas, possibilitando aumento de desbarrancamentos e enchentes na área. Como a área em questão é classificada como plano ondulado, esses transtornos são menos favorecidos, apresentando uma boa infiltração, baixa velocidade do escoamento superficial e não ocorrência de enchentes e erosões.

O coeficiente de rugosidade, que é um índice utilizado para diagnosticar as probabilidades de vir a ocorrer erosões, constatou que a bacia apresenta um RN de 6,28, permitindo classificar a bacia hidrográfica do rio Araquazinho com vocação para o uso por agricultura (Classe A), segundo Deamo (2009) e Rocha (1997), pelo fato de a área possuir um relevo plano e solos férteis, podendo ser mecanizada, e comprovando assim, o uso do solo pela agricultura desde os primórdios de habitação da região.

## 6. CONCLUSÕES

Conforme os dados obtidos nesse estudo, permitiu-se concluir que a área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho não está em conformidade com a legislação ambiental brasileira, pois apresenta 10,77% de área destinada como preservação, sendo que perante a lei, deve-se destinar 20% como Reserva Legal.

Além de não apresentar 20% como Reserva Legal, as APPs, que deveriam ocupar com vegetação natural uma área de 303,22ha, vêm sendo ocupadas inadequadamente em 109,73ha (36,19 %), com aproximadamente um terço pela cultura da canaveira.

No estudo da morfometria da bacia, permitiu-se concluir que a área apresenta riscos de susceptibilidade à erosão devido à sua forma mais circular, que permite uma maior velocidade de escoamento. Porém, a velocidade do escoamento da água acaba sendo reduzida, devido ao relevo plano que a área apresenta e aos bons solos que a compõem, o que aumenta a drenagem da água.

De acordo com a análise do uso e ocupação do solo da bacia, concluiu-se que a área é ocupada em grande parte para fins agrícolas, principalmente pela cultura canaveira. Dados estes obtidos também pelo coeficiente de rugosidade, que classificou a bacia com vocação para a Agricultura (Classe A). Esses dados comprovam o avanço e a força da cultura canaveira no estado de São Paulo.

Assim, os resultados encontrados permitiram concluir que a utilização de técnicas modernas de geomática, utilizando informações geoespaciais, aliadas com estudos do comportamento físico do terreno e análises ambientais, mostraram-se uniões interessantes, por relacionar técnicas eficientes e precisas com temáticas importantes, que interferem diretamente na preservação e recuperação de áreas, gerando informações de alto interesse para a população e órgãos públicos, além de subsídios para recuperar e preservar a área em estudo, que não se encontra ambientalmente preservada, e servir como base para futuros trabalhos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, F. F. A.; PINHO, R. A. **Pau - Brasil**: *Caesalpinia echinata* Lam. Arvoré Nacional. São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.pau.brasil.nom.br/PAU\\_BRASIL\\_2007\\_francismar.pdf](http://www.pau.brasil.nom.br/PAU_BRASIL_2007_francismar.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2015.

ALMEIDA, A. Q. de. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Córrego do Galo, Domingos Martins, ES**. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) Espírito Santo – Brasil Julho –2007 Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Ambiental – Centro Tecnológico - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2007.

ALMEIDA, J. R. **Planejamento Ambiental**: caminho para a participação popular e gestão ambiental para o nosso futuro comum. Uma necessidade, um desafio. Biblioteca Universidade Estácio de Sá. Ed: Thax, Rio de Janeiro, 1993.

ALVES, L. M. **Sistemas de informação geográfica como instrumento para o planejamento de uso da terra, em bacias hidrográficas**. Viçosa, 1993.112p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa.

AMARAL, A.Z., AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C., (Coord.) **Elementos de fotopedologia**. São Paulo: EDUSP, v.42, p.429-442, 1972.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.

ARGENTO, M. S. F.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento geomorfológico. In: CUNHA, S.B., GUERRA, A.J.T. (Org.) **Geomorfologia**: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 9, p.264-82.

EVERY, E.T. **Interpretation of aerial photographs**. 2.ed. Arizona: Barvass, 1962. 321p.

BRASIL. **Lei n° 12.727**, de 17 de outubro de 2012. Disponível em: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm)> Acesso em:  
04 set. 2014.

BRASIL. Congresso Nacional. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**.  
Brasília: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei n° 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acesso em: 04 set. 2014.

BUCENE, L.C. **Classificação de terras para irrigação utilizando um sistema de informações geográficas em Botucatu – SP**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Botucatu: UNESP.

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. R. **Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARMO, D.N.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. **Avaliação da aptidão das terras para eucalipto**. In: BARROS, N.F. de & NOVAES, R.F. de. Ed. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990. p. 187 - 235.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Hidrologia – Capítulo 3. Bacia Hidrográfica. **Apostila**. 2006. Disponível em: <  
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>>. Acesso em 05 jan. 2016.

CARVALHO, W. A. **Relações entre relevos e solos da bacia do rio Capivara - município de Botucatu, SP**. Botucatu, (Tese de Livre-Docência) - FCA/UNESP, 1981. 193f.

CARVALHO, W. M. DE C.; VIEIRA, E. DE O.; ROCHA, J. M. J.; PEREIRA, A. K. DOS S.; CARMO, T. V. B. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará -MG. **Revista Irriga**, v. 14, n. 3, p. 398-412, 2009.

CEPAGRI. Unicamp. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura: Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em:<[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_563.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html)>. Acesso em: 17 fev. 2015.

CHERUBIM, L. M.; PINTO, E. B.; SILVA, G. M. REBELO, K. M. W. O uso de geotecnologias no processamento, ajustamento e representação de dados espaciais no processo de ensino e aprendizagem na disciplina de Geomática. **Ensino em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 204-210, jan/jul. 2014.

- CHIARINI, J.J., DONZELLI, P.L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo. **Bol.Tec.Inst.Agron.**, Campinas, n.3, p.1-29, 1973.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v.9, 1969, p.35-64.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- COELHO, A.G. de S. **Obtenção de dados quantitativos de fotografias aéreas verticais**. Aerofotogrametria, São Paulo, 1972, v.8, p.1-23.
- COSTA, T. C. C.; SOUZA, M. G.; BRITES, R. S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Salvador, INPE, 8, 1996. p.121-127.
- DAINESE, R. C. Estudo das relações entre as classes de declividade e o uso atual do solo da bacia do rio araquazinho - São Manuel – SP. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (SIICUSP), Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: USP, 1997.
- DEAMO, J.C.M.; VALLE JUNIOR, R.F. do; VIEIRA, D.M.S.; VIEIRA, T.A.; COUTO, R.G.C. Diagnóstico Físico-Conservacionista da microbacia dos córregos Pindaíba, Marimbondo e Tenda, Uberlândia-MG. In: II Seminário Iniciação Científica – IFTM, Uberaba, MG, 2009. **Anais...** Uberaba: IFTM, 2009.
- DE CHRISTO, S.S.M. **Um novo método para elaborar diagnóstico físico-conservacionista de sub-bacias hidrográficas**. Santa Maria-RS, UFSM, 1989. 60p. Monografia (Especialização em interpretação de imagens orbitais e suborbitais). Santa Maria-RS, UFSM, 1989.
- DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- ERBA, D. A.; ROCHA, J. S. M. Um sistema para determinar os parâmetros característicos e avaliar a deterioração das sub-bacias hidrográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Santa Maria-RS, 1992. **Anais...** Santa Maria-RS, SBEA/UFSM, 1992, p.2258-63.
- FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, Natal, v. 26, nº 2, p. 18 - 30, jul./dez. 2014.
- FEMPAR. Fundação Escola do Ministério Público do Estado do Paraná. Código Florestal: Um debate sobre o futuro ambiental do Brasil. **REVISTA DIREITO DOS HUMANOS**. Publicação: FEMPAR. 1º Edição, Junho/2010.

FERNANDES, E.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E. **Integração de Sistemas de Informações Geográficas e sistemas especialistas para avaliação da aptidão agrícola das terras em bacias hidrográficas.** Rev. *Árvore*, Viçosa, v. 23, n.1, p. 75-82, 1999.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 181–188, 2013. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a1575>

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 158p.

FRANÇA, G. V. **Interpretação de bacias e redes de drenagem aplicados a solos da região de Piracicaba (SP).** 1968. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 11, p. 53-57, 1952

GARCIA, Y. M. **Aplicação do Código Florestal como Subsídio para o Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó - São Paulo.** Trabalho de conclusão (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2011, 145 f.

GARCIA, Y. M. **Conflitos de uso do solo em APPs na Bacia hidrográfica do córrego Barra Seca (Pederneiras/SP) em função da legislação ambiental.** 2014. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

GIOTTO, E.; KIRCHNER, F. F.; MADRUGA, P. R. A. Caracterização de parâmetros físicos da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande- uma aplicação do sistema georreferenciado para manejo integrado de bacias hidrográficas (SGMISTD). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, Santa Maria-RS, 1992. **Anais...** Santa Maria-RS, SBEA/UFSM, p.2159-76, 1992.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. DA. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 932–943, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000500012>

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275, 1945. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados dos municípios.** 2006. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/saopaulo/saomanuel.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: LAL, R. **Soil erosion and research methods**. Wageningen: SWCS, 1988.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

MAGALHAES JÚNIOR, A. P.; CORDEIRO NETTO, O. M. Ciência, cognição e informação na operacionalização da gestão participativa da água no Brasil. **Sociedade e Estado**, v. 18, n. 1/2, 2003.

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; SOUNDTRANAYAGAM, J. P. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 2, p. 373–381, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0860-4>

MAIA, J. S.; VALERIANO, D. M. Transgressão do Código Florestal no município de Piquete – SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Pôster. p. 611-616.

MARQUES, J.Q.A. **Manual Brasileiro para Levantamento de Capacidade de Uso da Terra: 3º aproximação**. Escritório Técnico Brasileiro Brasil - Estados Unidos (ETA), 433 p., 1971.

MELLO FILHO, J. A.; ROCHA, J. S. M. Diagnóstico físico-conservacionista da sub-bacia hidrográfica do rio Sesmaria, em Resende- RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Santa Maria-RS, 21, 1992. **Anais...** Santa Maria-RS, SBEA/UFMS, 1992, p.2178-2191.

MENEZES, D. B. **Avaliação de aspectos metodológicos e aproveitamento de informações do meio físico em estudos geoambientais de bacias hidrográficas: aplicação na bacia do rio Pardo**. Rio Claro, 2001. 235p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MILANI, J. R.; CANALI, N. E. **O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica**. Revista RA'EGA, n. 4, p. 139-152, 2000.

MOREIRA, A. A.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C.; SILVA, E. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 1381-1389.

MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 1981.



MURAMOTO, J. et al. Adequação do uso das terras de Piracicaba (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 1993. p. 405-406.

NARDINI, R. C. **Diagnóstico socioambiental da bacia do Ribeirão Água Fria, Município de Bofete - SP.** 2013. 135f. Dissertação (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP. UNESP. 2013.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações.** São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 1989. 308p.

OLIVEIRA, A. de; FERREIRA, E. **Caracterização de sub-bacias hidrográficas.** 2001. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)– Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERAN FILHO. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Campinas, 1999, p.64.

PEREIRA FILHO, W. **Capacidade de uso da terra em função do coeficiente de rugosidade.** 1986. 48f. Monografia (Especialização em Interpretação de Imagens Orbitais e Sub Orbitais)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1986.

PIEIDADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP.** Botucatu, (Tese de Livre Docência) - FCA/UNESP, 1980. 161f.

PINCINATO, F. L. Sensoriamento remoto e SIG na análise da viabilidade de recuperação de áreas de preservação permanente irregulares em São Sebastião – SP .In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto **Anais..** Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 2323-2330.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica.** 1991. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991.

PIRES J.S.R.; SANTOS, J. E. Bacias Hidrográficas: integração entre o meio ambiente e desenvolvimento. **Revista Ciência Hoje: Águas do Brasil, má utilização e falta de planejamento.** 19 (110): 40-50, 1995.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu-SP.** Botucatu, 2002. 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

POLLO, R. A. **Diagnóstico do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso no município de São Manuel (SP), por meio de geotecnologias.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

POLITANO, W.; LOPES, L.R.; SACCHI, E.; PARO, P.S. Caracterização por fotointerpretação da ocupação do solo no município de Monte Alto - SP. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v.7, n.1, 1983, p.17-25.

QUEIROZ, P. H. B.; SALES, M. C. L.; SILVA, J. M. O. Indicadores Morfométricos como subsídio ao Planejamento Ambiental em um setor do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Pacoti - CE. **Revista Equador** (UFPI), Vol.3, n.1, p. 03 – 24, 2014.

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa, UFV, 1982. p. 64-87

RESENDE, M. **Sistema de classificação da aptidão agrícola dos solos (FAO – brasileiro) para algumas culturas específicas: necessidade e sugestões para o desenvolvimento**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 9 (105): 83 – 8, 1983.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. ed. UFSM, Santa Maria, RS. 1991, p.181.

ROCHA, J. S. M. **Manual de Projetos Ambientais**. 1 ed. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997, p.446.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P.; MENEZES NETO, E. L.; AGUIAR NETTO, A. O. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 271– 287, 2014.

ROCHA, R. M. et al. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Rev. Ambient. Água** [online]. 2014, vol.9, n.2, pp. 276-287. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1289>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; TAGLIARINI, F. S. N. Comparação do desempenho de sistemas de informação geográfica (IDRISI Selva e ArcGIS®) por meio de processamento digital de imagem. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 10, n. 2, p. 265-280, 2014.

ROSA, R. (2009): **Geomatica no Brasil: histórico e perspectivas futuras**, GeoFocus (Informes y comentarios), nº 9, p. 29- 40. ISSN: 1578-5157

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>

SANTOS, M. L. M.; MATTOS, M. M.; PIRES, I. O.; BROWN, I. F.; ASSIS, W.S. Utilização de imagens de satélite no mapeamento preliminar do uso da terra e na capacitação de agricultores do médio Rio Capim- Paragominas-PA. Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 7, 1993, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. 15p.

SCOLPEL, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D, SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC., 1993 – p.157-70.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. In.: **Geological Society of America Bulletin**. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1956.

SENADO FEDERAL. Código Florestal - Nova lei busca produção com preservação. **Revista Em Discussão!**. Ano 2 - nº 9 – dezembro de 2011.

SIGRH. **Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. Disponível em:< <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

SILVA, E. Código Florestal Brasileiro: função e áreas de preservação permanente. In:SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4, 1996, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: 1996. p.48.

SILVA, J.A.A. et al. **O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo**. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC; Academia Brasileira de Ciências, ABC. 2011. 124p. ISBN 978-85-86957-16-1.

SILVA, M. S.; PIEDADE, G. C. R. Análise do relevo de uma bacia hidrográfica através da curva de distribuição percentual da superfície em função das suas declividades parciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBEA, 1993. p. 362-373.

SILVEIRA, G.R.P.; CAMPOS, S.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F. M.; GARCIA, Y.M.; CAMPOS, M. de; FELIPE, A.C.; SILVA; C.O.; POLONIO, V.D.; PARIZOTO, N.M.S.F. Geoprocessamento Aplicado na espacialização da Capacidade de 62 Uso do Solo para fins de Planejamento Conservacionista da Microbacia do Córrego São Caetano-Botucatu (SP). XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013. **Anais...** SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE.p.4367-4374.

SIMÕES, L. B. **Avaliação das áreas de prevenção permanente da Bacia do Ribeirão Lavapés, Botucatu, SP, através de sistema de informações geográficas (SIG-IDRISI)**. Botucatu, 1996. 145p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOUZA. C.G. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002. 124p.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentável das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n.207, p.15-20, 2000.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, 1952, p.1117-1142.

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Transactions American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

SWIOKLO, M.T. Legislação florestal: evolução e avaliação. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Campos do Jordão, p.55-58. 1990.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica dacachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TORRES, J.L.R & FABIAN, A.J. **Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista de uma microbacia hidrográfica de Uberaba**. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 150 – 159, out./2006

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 1997, p.943.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, Campinas. v.10, n. 4, p. 67-76. 2010.

UFRGS, IDRISI. 200-? <

[http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56&Itemid=20](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=20)> Acesso em: 01 dez. 2015.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 118– 130, 2011.

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

WISLER, C.O.; BRATER, E.F. (1964). **Hidrologia**. Tradução e publicação de Missão Norte Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A.

ZAKIA, M. J. B. Atualização Florestal - a Nova Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. In: **Curso realizado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ)**. Nazaré Paulista, 2013.