

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

MARCELO ARAÚJO DE SOUZA

**GEOTECNOLOGIAS PARA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E
AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CRICARÉ**

**SÃO MATEUS, ES
MARÇO DE 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**GEOTECNOLOGIAS PARA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E
AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CRICARÉ**

MARCELO ARAÚJO DE SOUZA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro Gomes Facco

**SÃO MATEUS, ES
MARÇO DE 2016**

GEOTECNOLOGIAS PARA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CRICARÉ

MARCELO ARAÚJO DE SOUZA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em ____ de ____ 2016.

Prof. Dr. Abrahão Alexandre Alden Elesbon
Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo
(Membro externo)

Prof. Dr. Edney Leandro da Vitoria
Universidade Federal do Espírito Santo
(Membro interno)

Prof. Dr. Alexandro Gomes Facco
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

A minha esposa Brenda Ferreira de Barros,
Pelo amor, compreensão e apoio.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde e disposição que me revestiu em todos os momentos de minha vida.

Agradeço a Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) pelo curso oferecido e pela oportunidade de ingresso.

Ao meu orientador, Dr. Alexandro Gomes Facco, por me aceitar como orientado, pelos ensinamentos técnicos, pela confiança e respeito consolidados durante estes anos.

A graduanda Leticia Carvalho, aluna de iniciação científica do Laboratório de Topografia e Geomática, pela valiosa contribuição nos mapeamentos com SIG.

Ao Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo, especialmente ao Departamento de Terras e Cartografia e aos colegas do Escritório Local do IDAF de Pancas.

Aos professores Edney Leandro da Vitoria e Abrahão Alexandre Alden Elesbon pela amizade e sugestões técnicas na realização deste trabalho.

Aos alunos do mestrado em Agricultura Tropical pela convivência harmoniosa e amizade durante estes anos, especialmente os mestrandos Fabricio Moulin, Joel Cardoso, André Covre, Ana Maria, Liniquer Bernardino e Luciano Canal. À vocês deixo uma frase de Madre Teresa de Calcutá: “As palavras de amizade e conforto podem ser curtas e sucintas, mas seu eco é infundável.”

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Á todos vocês, minha gratidão!

SATÉLITE

Fim de tarde.
No céu plúmbeo
A Lua baça
Paira
Muito cosmograficamente
Satélite.

Desmetaforizada,
Desmitificada,
Despojada do velho segredo de melancolia,
Não é agora o golfão de cismas,
O astro dos loucos e dos enamorados.
Mas tão-somente
Satélite.

Ah lua deste fim de tarde,
Demissionária de atribuições românticas,
Sem show para as disponibilidades sentimentais!
Fatigado de mais-valia,
Gosto de ti assim:
Coisa em si,
- Satélite.

Manuel Bandeira

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE EQUAÇÕES	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Bacias Hidrográficas	4
2.2 Análise Morfométrica	7
2.3 Gestão dos Recursos Hídricos.....	9
2.4 Legislação Ambiental e Atividades Agrícolas em Áreas de Preservação Permanente	11
2.5 Geotecnologias e Sistemas de Informações Geográficas.....	14
2.6 Modelos Digitais de Elevação	17
2.7 Interpoladores de Dados Espaciais.....	19
2.8 Base de Mapas	20
2.8.1 World Imagery.....	20
2.8.2 Bing Maps.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Área de Estudo	23
3.2. Obtenção do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)	24
3.3. Morfometria da Bacia Hidrográfica.....	27
3.3.1 Características Geométricas.....	27
3.3.2 Características da Hidrografia	30
3.3.3 Características do Relevo.....	35
3.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)	43
3.4.1 Ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes	44
3.4.2 Declividade superior a 45°	45
3.3.4 Topos de morro.....	46

3.5 Mapeamento das classes de cobertura e uso do solo em APPs	49
3.5 Elaboração do Mapa de uso e cobertura do solo a partir de imagens do satélite RapidEye	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Morfometria	56
4.2 Determinação das APPs de nascentes, cursos d'água, declividade e topo de morro	71
4.3 Confronto do uso e cobertura do solo em APPs da extensão capixaba da bacia	77
4.3 Avaliação do Mapa Temático	81
5. CONCLUSÕES	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cobertura da Imagem de alta resolução da Base da Esri	21
Figura 2: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Cricaré.....	24
Figura 3: Comparação da hidrografia mapeada (azul) e hidrografia numérica gerada para 500 células (vermelha).....	26
Figura 4: Etapas metodológicas desenvolvidas para obtenção do MDEHC	26
Figura 5: Fluxograma da metodologia utilizada para delimitação das APPs de curso d'água e APP de nascentes	45
Figura 6: Fluxograma da metodologia utilizada para delimitação das APPs de declividade	46
Figura 7: Fluxograma da metodologia utilizada para delimitação das APPs de topo de morro	49
Figura 8: Hidrografia.....	60
Figura 9: Mapa de declividade	64
Figura 10: Curva de distribuição de declividade da bacia hidrográfica.....	65
Figura 11: Mapa hipsométrico	66
Figura 12: Curva Hipsométrica da bacia hidrográfica.....	68
Figura 13: Retângulo Equivalente	69
Figura 14: APPs de Nascentes da bacia hidrográfica do rio Cricaré.....	71
Figura 15: APPs de Cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Cricaré.....	72
Figura 16: APPs de Declividade da bacia hidrográfica do rio Cricaré	73
Figura 17: APPs de Topo de Morro da bacia hidrográfica do rio Cricaré	75
Figura 18: Mapa das APPs da bacia hidrográfica do rio Cricaré	76
Figura 19: Classes de Uso da Terra nas Nascentes da Extensão Capixaba da Bacia Hidrográfica	77
Figura 20: Classes de Uso da Terra nas APPs de Cursos d'água da Extensão Capixaba da Bacia Hidrográfica	79
Figura 21: Mapa de uso do solo	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da declividade segundo a EMBRAPA (1979)	37
Tabela 2: APPs de cursos d'água em função da largura do curso hídrico	44
Tabela 3: Classes de cobertura e uso do solo nas APPs mapeadas	50
Tabela 4: Especificações técnicas gerais dos satélites do sistema RapidEye .	51
Tabela 5: Chave de interpretação das imagens do satélite RapidEye	53
Tabela 6: Qualidade da classificação segundo a estatística Kappa.....	55
Tabela 7: Características geométricas	56
Tabela 8: Características da Hidrografia	58
Tabela 9: Ordens dos cursos d'água classificados segundo Strahler	60
Tabela 10: Análise linear da rede hidrográfica	61
Tabela 11: Características do Relevo	62
Tabela 12: Quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade	63
Tabela 13: Distribuição de declividade na bacia	65
Tabela 14: Curva hipsométrica da bacia hidrográfica	67
Tabela 15: Retângulo Equivalente	68
Tabela 16: Áreas ocupadas pelas APPs na bacia Hidrográfica do rio Cricaré .	76
Tabela 17: Classes de uso da terra nas nascentes da bacia (extensão capixaba).....	78
Tabela 18: Classes de uso da terra nas margens de córregos da bacia (extensão capixaba)	80
Tabela 19: Classes de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Cricaré	82
Tabela 20: Matriz de Erros da classificação por pixel (Maxver)	84
Tabela 21: Erros de Omissão e Comissão	85

LISTA DE EQUAÇÕES

Coeficiente de compacidade (K_c).....	38
Fator de forma (K_f)	39
Razão de alongação (R_e)	39
Índice de circularidade (I_c)	40
Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO).....	40
Densidade de Drenagem (D_d).....	41
Densidade Hidrográfica (D_h).....	42
Coeficiente de torrencialidade (C_t).....	42
Densidade de Confluência (D_c).....	42
Relação de bifurcação (R_b).....	43
Relação ponderada de bifurcação (R_{pb}).....	44
Relação entre o comprimento médio dos canais (R_{lm}).....	44
Relação entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{ib})	44
Índice de Sinuosidade (I_S)	45
Coeficiente de Manutenção (C_m).....	45
Altitude e elevação média da bacia	46
S1	48
S2.....	48
S3.....	49
S4.....	49
Lado maior do retângulo equivalente	50
Lado menor do retângulo equivalente	50
Índice de alongamento (K_l).....	50
Índice de rugosidade (H_D)	50
Coeficiente de rugosidade.....	51
Razão de relevo (R_r)	51
Razão de relevo relativo (R_{rl}).....	51
Fator topográfico (F_t).....	52

Textura Topográfica (Tt).....	52
Razão de textura (T)	52
Coeficiente de massividade (Tga)	53
Coeficiente orográfico (Co).....	54
Extensão média do escoamento superficial (I)	54
Índice Kappa	64
Exatidão Global	65

RESUMO

SOUZA, Marcelo Araújo. **Geotecnologias para Caracterização Morfométrica e Ambiental da Bacia do Rio Cricaré**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical). Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus-ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandro Gomes Facco.

O rio Cricaré faz parte da bacia hidrográfica do rio São Mateus, uma das regiões agrícolas mais importantes do estado do Espírito Santo. Nesta bacia estão os municípios com maior produção brasileira de café conilon, pimenta do reino, mamão, macadâmia, eucalipto, além da pecuária. No entanto, sua dinâmica hidrológica tem sido afetada por atividades antrópicas, ocasionando prejuízos diversos, como erosão, assoreamento e enchentes. Deste modo, faz-se necessário estudos e pesquisas que possam auxiliar na análise da dinâmica do uso e cobertura do solo, com destaque para as geotecnologias. Face ao exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral a caracterização morfométrica e o mapeamento do uso das terras na Bacia Hidrográfica do Rio Cricaré utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para isso, gerou-se inicialmente o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), a partir do projeto TOPODATA, disponibilizado no site do INPE na resolução 30 x 30m, e da hidrografia vetorizada. Posteriormente foram obtidas as principais características fisiográficas para estudo do comportamento hidrológico da bacia. O relevo é predominantemente ondulado e a altitude média é de 348,73 m. A área de drenagem encontrada foi de 4538,02 km² e o perímetro 615,58 km. Foram identificadas 3021 nascentes e 6268,67 km de cursos hídricos. As Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram delimitadas sob a ótica da legislação ambiental em vigor, as quais representam 9,64% da bacia. A principal forma de uso da terra na bacia é a pecuária, com 55,92%. A área preservada com Mata Atlântica nativa é de 19,02%.

Palavras-chaves: Manejo de bacias hidrográficas, caracterização morfométrica, rio Cricaré, geotecnologias.

ABSTRACT

SOUZA, Marcelo Araújo. **Geotechnology for Characterization and Environmental Morphometric River Basin Cricaré**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical). Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus-ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandro Gomes Facco.

The river Cricaré part of the river basin Matthew, one of the most important agricultural regions of the state of Espírito Santo. In this basin are the cities with the largest Brazilian production conilon coffee, pepper, papaya, macadamia nuts, eucalyptus, as well as livestock. However, its hydrological dynamics has been affected by human activities, causing many damages such as erosion, siltation and flooding. Thus, it is necessary studies and research that can assist in the analysis of the use and land cover dynamics, especially the geotechnology. Given the above, this study aimed to the morphometric characterization and mapping of land use in the Basin Cricaré River using GIS and remote sensing techniques in Geographic Information Systems (GIS). For that was generated initially the Digital Elevation Model hydrologically consistent (MDEHC) from TOPODATA project, available at INPE website in resolution 30 x 30m, and vectored hydrography. Subsequently they were obtained for the main physiographic study of the hydrological behavior of the basin. The relief is predominantly wavy and the average altitude is 348.73 m. The drainage area of 4538.02 square kilometers was found and the perimeter 615.58 kilometers. 3021 springs and 6268.67 km of water courses were identified. The Permanent Preservation Areas (PPAs) were defined from the viewpoint of environmental legislation, which represent 9.64% of the basin. The main form of land use in the basin is cattle ranching, with 55.92%. The preserved area with native Atlantic Forest is 19.02%.

Keywords: Watershed management, characterization morphometric, Cricaré river, geotechnology.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A bacia hidrográfica do rio Cricaré é uma das regiões agrícolas mais importantes do Estado. Nesta bacia destaca-se a produção de café conilon, pimenta do reino, mamão, macadâmia, eucalipto, além da pecuária. No entanto, sua dinâmica hidrológica tem sido afetada por atividades antrópicas, ocasionando prejuízos diversos, como erosão, assoreamento e enchentes.

O uso da terra, com alteração da cobertura vegetal, constitui-se num dos fatores mais importantes que afetam a produção de água em áreas rurais, e é considerado um importante foco de atuação do manejo de bacias hidrográficas.

Desta forma, o conhecimento hidrológico é fundamental para o planejamento e operação dos sistemas hídricos, pois é a partir da disponibilidade de dados confiáveis que se conhece, estuda, avalia, planeja, executa e gerencia as relações da água com os demais recursos e a sustentabilidade dos meios e processos envolvidos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, compreende, entre seus fundamentos, a bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos, com intuito de proporcionar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água para diferentes finalidades.

Para Bertazi et al. (2011) a bacia hidrográfica constitui uma unidade natural, em que o elemento integrador é representado por canais de drenagem em que a água é um elemento referencial porém não se trata de um sistema ambiental fechado, pois se relaciona com outros elementos do meio natural como o relevo, solo, subsolo, flora e atividades antrópicas onde a percepção ambiental das distintas interações entre homem e ambiente, contribui para a compreensão da dinâmica de uma bacia hidrográfica.

A delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais (ELESBON et al. (2011). Esta delimitação pode ser obtida de maneira automatizada, usando Modelos Digitais de Elevação (MDE), sendo mais rápida,

menos subjetiva e provida de mais informações que as técnicas manuais e tradicionais aplicadas a mapas topográficos.

A aplicação de todo o aparato legal em vigor depende de uma série de ações, de natureza multidisciplinar, especialmente focadas em planejamento, educação e fiscalização. Neste contexto é utilizado um grande número de informações, que mediante as ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e do Sensoriamento Remoto (SR), minimizam e facilitam o trabalho técnico.

As metodologias que utilizam a geotecnologia como ferramenta principal vêm se destacando. Segundo Luppi et al. (2015), esta é a alternativa mais viável para se reduzir significativamente o tempo gasto com o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e, por consequência, agilizar o período hábil de fiscalização no cumprimento das leis pertinentes.

Na região norte do estado do Espírito Santo as APPs atualmente estão submetidas a grandes extensões de degradação, devido à intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente. Dessa forma, observa-se um processo de substituição das paisagens naturais por outros usos, causando sérios problemas ambientais e, em muitos casos, afetando a disponibilidade de recursos naturais indispensáveis à vida.

Conforme estudos apresentados por Macedo e Magalhães (2011) o processo histórico de ocupação da região norte do Espírito Santo começou nas primeiras décadas do século XX, ganhando impulso após a construção da ponte de Colatina sobre o rio Doce, em 1928. O cultivo do café firmou-se como a principal atividade econômica da região até os anos 1960 e foi o principal responsável pela constituição de núcleos urbanos no interior.

A partir da década de 1950 acelerou-se o crescimento da exploração madeireira, estimulado de um lado pelo aumento do consumo de madeira pela construção civil e setor moveleiro, decorrente do processo de urbanização em curso no país, e do outro, pela política de erradicação do café.

A ineficiente fiscalização não impediu que a Mata Atlântica, sobretudo a localizada no norte capixaba, sofresse um dos mais rápidos processos de

desmatamento ocorrido no país. Tal processo foi responsável por diversos problemas ambientais, destacando-se a significativa redução da qualidade dos solos e a intensificação da erosão hídrica, associados à diminuição da disponibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos.

Com o intuito de disciplinar e limitar as interferências antrópicas negativas sobre o meio ambiente, o Novo Código Florestal Brasileiro – Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012), trouxe novos parâmetros para a definição das APPs, especialmente para topo de morros. Segundo Coutinho et al. (2013), o mapeamento destas áreas é importante para o planejamento territorial, a fiscalização e as ações de campo nos âmbitos local, regional ou nacional, facilitando as fiscalizações que visam ao cumprimento da legislação ambiental.

Delimitar e, principalmente, fiscalizar as APPs em uma bacia hidrográfica é uma tarefa dispendiosa. Sendo assim, o uso das geotecnologias, sobretudo as imagens de satélite de alta resolução espacial, tendo como referência os aspectos técnicos e legais, pode permitir ao poder público verificar a exequibilidade dos projetos de desenvolvimento locais com base na legislação ambiental e na ocorrência do uso inadequado da terra.

Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral realizar a caracterização a morfométrica e mapear do uso das terras na bacia hidrográfica do rio Cricaré utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Os objetivos específicos foram:

- Avaliar as características morfométricas da bacia hidrográfica em estudo;
- Delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) sob a ótica da legislação ambiental em vigor;
- Identificar e analisar as áreas de conflito quanto ao uso e ocupação das terras nas APPs da extensão capixaba da bacia.
- Realizar o diagnóstico ambiental da bacia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacias Hidrográficas

A compreensão do conceito de bacia hidrográfica, de suas subdivisões e o estudo de suas características físicas é de fundamental importância para gestores e pesquisadores. Sua dinâmica está ligada a vários segmentos de interesse de uma sociedade, principalmente para abastecimento de água e para geração de energia. Diversas são suas definições na literatura, normalmente complementares.

Para ARAÚJO et al. (2009) o conceito de bacia hidrográfica pode ser definido como uma área limitada por um divisor de águas que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes, é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial.

Lima e Zakia (2006) definem que as bacias constituem-se em sistemas abertos, recebendo energia por meio de agentes climáticos e perdendo energia por meio do deflúvio. Podem ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico.

Attanásio (2004), afirma que é a unidade física caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas.

Von Sperling (2007) considera que uma bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica, limitada por divisores topográficos, que recolhe a precipitação, age como um reservatório de água e sedimentos, defluindo-os em uma seção fluvial única, denominada exutório. A bacia associada a uma dada seção fluvial ou exutório, é individualizada pelos divisores de água e pela rede fluvial de drenagem.

Vilela e Matos (1975) afirmam se tratar de uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma única saída. Não obstante, Tucci (2009) classificou a bacia hidrográfica como sendo uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída.

Os principais componentes das bacias hidrográficas, como solo, água, vegetação e fauna, coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais (intemperismo e modelagem da paisagem) e aquelas de natureza antrópica (uso e ocupação da paisagem), afetando ecossistemas como um todo (FERNANDES e SOUZA, 2013). A identificação dos componentes supracitados e dos processos relativos às suas interações, são de fundamental importância para o planejamento de como serão utilizados os recursos da bacia e de seu processo de manejo e conservação.

De acordo com Soares et al. (2010) gerir recursos hídricos é uma necessidade premente e que tem o objetivo de ajustar as demandas econômicas sociais e ambientais por água em níveis sustentáveis, de modo a permitir, sem conflitos, a convivência de seus usos atuais e futuros.

Coutinho (2010) afirma que o manejo de bacias hidrográficas pode ser entendido como o conjunto de ações que organizam e orientam o uso e a ocupação do solo e demais recursos existentes na bacia, visando o uso sustentado do solo e da água, assim como a produção de bens e serviços.

A essência de uma boa gestão de recursos hídricos é a disponibilidade de dados confiáveis para avaliar o planejamento e a operação dos sistemas hídricos. O conhecimento hidrológico deve ser visto como fundamental para o planejamento e manejo sustentável devido às estreitas relações da água com os demais recursos (VILAÇA et al., 2009).

O enfoque do planejamento e manejo de bacias hidrográficas se mostra potencialmente eficaz na gestão ambiental de territórios, (ou seja, em ordenamento do território), visto que estas podem ser pesquisadas como sistemas naturalmente delimitados (SCÁRDUA, 2013). Neste contexto, o

manejo de bacias hidrográficas representa uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de forma sustentável.

Segundo Fernandes e Souza (2013), nas bacias e sub-bacias hidrográficas, os recursos hídricos constituem importantes indicadores das condições dos ecossistemas. Sua subdivisão permite uma melhor abordagem de determinados problemas difusos, pois é em nível local que os problemas se manifestam.

Braga e Carvalho (2005) afirmam que a adoção das micro-bacias hidrográficas serve, na medida do possível, como unidade espacial no zoneamento ambiental tanto para o planejamento urbano como para facilitar a gestão dos recursos hídricos, incluindo sua preservação e melhoria.

Alterações significativas na paisagem podem promover a fragmentação de habitats, a perda da biodiversidade, a contaminação dos corpos hídricos, o desmatamento, a poluição atmosférica, entre outros exemplos amplamente discutidos na literatura. Portanto, o planejamento e o gerenciamento integrado devem proporcionar uma visão abrangente que inclua políticas públicas, tecnológicas e de educação, com o intuito de promover um processo de longo prazo em busca da sustentabilidade ambiental (ARAÚJO et al., 2009; NASCIMENTO e VILLAÇA, 2008).

Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas, áreas de preservação da fauna e flora, cursos d'água, vegetações naturais e demais usos fazem parte de uma bacia hidrográfica, ou seja, é possível visualizar a integração recursos naturais e atividades humanas (PORTO e PORTO, 2008; NASCIMENTO e VILLAÇA, 2008).

Sendo assim, mudanças de atitudes em diversos setores, tanto dos tomadores de decisão como da população, são necessárias, para obtenção de qualidade e quantidade da água, em busca da sustentabilidade. Abordagens de gerenciamento integrado como, programas para reciclagem de materiais visando à redução da poluição das águas, adoção de métodos de mitigação da poluição difusa e monitoramento adequado, buscando um banco de dados capaz de verificar tendências e avaliar possíveis impactos, são importantes

ferramentas para o planejamento de bacias hidrográficas (NASCIMENTO e VILLAÇA, 2008).

2.2 Análise Morfométrica

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros) e do tipo de cobertura vegetal. Desse modo, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial (TONELLO, 2006).

De acordo com Lima (1986), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema geomorfológico aberto, e como tal ela se encontra, mesmo quando não perturbada, em contínua flutuação, num estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Ou seja, a adição de energia e a perda de energia do próprio ecossistema encontram-se sempre em delicado balanço. Desse modo, a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo, no entanto, atuam sobre a taxa ou sobre o regime dessa produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Muitas dessas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são, em grande parte, controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica.

Para investigar as características das diversas formas de relevo, as bacias hidrográficas se configuram como feições importantes, principalmente no que se refere aos estudos de evolução do modelado da superfície terrestre. Entretanto, a maioria dos trabalhos científicos acerca de bacias hidrográficas evidencia qualitativamente os aspectos de forma que, em geral, é insuficiente para a identificação de homogeneidades, no que diz respeito aos fatores que influenciam as formas de relevo. Assim, é evidente a necessidade do emprego de métodos quantitativos para estudos dessa natureza (ALVES e CASTRO, 2003).

Segundo Tonello (2006) a quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. Para tanto, é preciso expressar, quantitativamente, todas as características de forma, de processos e de suas inter-relações. Cabe ressaltar que nenhum desses índices, isoladamente, deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal.

De acordo com Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação do seu comportamento hidrológico, pois, ao se estabelecerem relações e comparações entre tais características e os dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais faltem dados.

Segundo Conrath (2012), as características físicas ou fisiográficas são expressas por tudo o que se pode medir e extrair de mapas, fotografias e imagens de satélites. Para Elesbon (2013) a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica depende da determinação de seus parâmetros morfométricos que, por sua vez, demandam fundamentalmente da delimitação da respectiva bacia.

As características morfométricas do padrão de drenagem refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre, determinando diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos desenvolvidos por HORTON (1945), STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968).

Strahler (1957) desenvolveu um método de análise dimensional e semelhança geométrica através de medidas de tamanho e de parâmetros geométricos lineares para agrupar bacias hidrográficas de maior similaridade geométrica. Esse método todo tem sido utilizado como auxiliar no processo de amostragem de bacias hidrográficas, que tenham comportamento hidrológico e características morfométricas semelhantes (PINTO JUNIOR e ROSSETI, 2005).

Na caracterização de uma bacia hidrográfica que vise identificar os fatores que influenciam as formas de relevo é necessário o emprego de metodologias quantitativas de análise. Assim sendo, emprega-se a morfometria como análise quantitativa mediante o uso dos parâmetros calculados, tais como: coeficiente de compacidade, índice de circularidade, densidade de drenagem, declividades, comprimento de cursos d'água, coeficiente de rugosidade, dentre outros (ALVES e CASTRO, 2003; POLITANO e PISSARRA, 2003; PISSARRA et al., 2004).

O risco de degradação ambiental em bacias hidrográficas pode ser estimado pelo coeficiente de rugosidade (RN), obtido do produto entre a densidade de drenagem e a declividade média da microbacia (PISSARRA et al., 2004; ROCHA, 1977; GIOTTO et al., 1992; MELLO FILHO e ROCHA, 1992).

Segundo Guerra e Cunha (1995), a ordenação dos canais fluviais é o primeiro passo para a realização da análise morfométrica de bacias hidrográficas (análise real, linear e hipsométrica).

Os critérios de ordenação dos cursos de água foram propostos, inicialmente, por Horton (1945) e modificado por Strahler (1952). Para Strahler (1952), os segmentos de canais formadores, sem tributação, são denominados de primeira ordem; da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os segmentos de canais de segunda ordem que só recebem afluentes de ordem inferior (segmentos de canais de primeira ordem). Da confluência de dois segmentos de canais de segunda ordem surgem os segmentos de terceira ordem que recebem afluentes de ordens inferiores, no caso, segmentos de primeiras e segundas ordens.

2.3 Gestão dos Recursos Hídricos

No momento em que a água deixou de ser considerada apenas um elemento natural e passou a ser encarada como um recurso renovável, porém limitado, observou-se a necessidade de regulamentação do seu uso. Em razão disso, surge no Brasil, um complexo sistema legal e institucional responsável

pela gestão dos recursos hídricos, o qual faz parte do Direito das Águas (SAMPAIO, 2011).

Conforme destaca Souza et al. (2015) a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - Lei nº 9433/1997 - marcou o contexto histórico da legislação sobre Recursos Hídricos, mostrando-se como um instrumento moderno e inovador ao propor um gerenciamento de forma descentralizada e com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, na gestão da água, além de deixar bem claro, através de seus fundamentos, que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, bem de domínio público, cuja gestão deve sempre proporcionar os seus usos múltiplos.

Este mesmo autor afirma que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento se faz indispensável, não apenas pelos aspectos hidrológicos, como também, pelo fato de que dentro de uma bacia ocorrem inúmeras interações entre aspectos bióticos, abióticos e antrópicos que influenciam direta e indiretamente a dinâmica dos recursos hídricos, fazendo-se necessário o conhecimento de todos esses aspectos (características morfométricas, climáticas, pedológicas, geomorfológicas, bem como, o uso e ocupação dos solos) e das respostas do ambiente as alterações dos mesmos.

Esta lei trata a questão de gestão dos recursos hídricos de forma descentralizada, atribuindo responsabilidades distintas aos segmentos de governo federal, estadual e municipal. Representa, ainda, uma profunda mudança de valor no que se refere aos usos múltiplos da água, às prioridades desses usos, ao seu valor econômico, à sua qualidade de ser finita e à participação popular na sua gestão (BRASIL, 1997).

Neste contexto, a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, além de instituir a PNRH, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH). A partir de sua criação, as bacias hidrográficas passaram a ser geridas através de seus respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas.

A PNRH foi criada com objetivo de assegurar à presente e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, além da prevenção e da defesa contra

eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Entre os principais fundamentos do artigo 1º da PNRH, destacam-se os que discorrem sobre a água ser um bem de domínio público, ser um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, e que a bacia hidrográfica ficou estabelecida como unidade territorial para a implementação da política em questão. Ainda no artigo supracitado, ficou definido que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

A Lei Estadual nº 5.818, de 30 de dezembro de 1998 (ESPÍRITO SANTO, 1998) dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Integrado de Gerenciamento e Monitoramento do estado do Espírito Santo (SIGERH/ES). Esta lei cita no artigo 2º inciso V, que a BH é a unidade físico-territorial de planejamento, gerenciamento e enquadramento das águas, consideradas as influências por estas recebidas das regiões limítrofes (meio físico, antrópico e biótico) e das camadas subjacentes do solo.

O desenvolvimento sustentável é fundamentado no uso racional dos recursos naturais, para que possam continuar disponíveis a gerações futuras, ou seja, aquele que não esgota, mas conserva e realimenta sua fonte de recurso naturais, e que não inviabiliza a sociedade (AGENDA 21, 1995).

Neste contexto, o manejo de bacias hidrográficas representa uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de forma sustentável. Este, deve sempre buscar o auxílio de ferramentas que possibilite melhorias na qualidade dos dados, do processamento, da modelagem e conseqüentemente da resultados, tanto parciais como finais, obtidos para fins específicos.

2.4 Legislação Ambiental e Atividades Agrícolas em Áreas de Preservação Permanente

A preocupação do Estado com o meio ambiente resultou na criação do primeiro código florestal brasileiro no ano de 1934 e este sofreu diversas

alterações com o passar dos anos. O primeiro código florestal definiu que as florestas são de interesse comum dos cidadãos e a dividiu em quatro categorias: florestas protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. A finalidade das florestas protetoras era preservar o meio ambiente, logo foram criadas as infrações florestais com punições da esfera civil e criminal para o infrator (BRASIL, 1934).

O segundo código florestal publicado em 1965 criou o termo jurídico área de preservação permanente (APP) e a reserva legal (RL). Definiu quais são as APPs e estabeleceu a faixa marginal cuja largura mínima era variável de acordo com a largura dos rios. O tamanho da APP dos rios era padronizado independente da região do país e proibido sua utilização, salvo por interesse público e social autorizado pelo poder executivo federal. A RL a ser preservada era 50% na região norte e 20% no restante do país. Estas poderiam ser exploradas através do plano florestal de manejo sustentável aprovado por órgão ambiental competente Brasil (1965).

No entanto, no decorrer dos últimos anos, o código florestal sofreu alterações e ajustes, sendo contemplada e modificada por meio de novas leis, medidas provisórias e resoluções. No ano de 2012 a delimitação das APPs foi uma das principais pautas de discussões no poder legislativo, levando a publicação da Lei nº 12.651 (Novo Código Florestal) em 25 de maio de 2012.

Observa-se, por meio do conceito proposto por Brasil (2012), que a Lei 12.651 estabelece que as APPs “são aquelas que devem ser mantidas intactas pelo proprietário ou possuidor de imóvel rural, independentemente de qualquer outra providência ou condição” e destinam-se “em virtude da sua natural função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

Bueno (2012) afirma que para a legislação atual ser mais facilmente compreendida, alguns ajustes pontuais foram necessários. Assim, para facilitar a orientação e fiscalização das instituições ambientais “[...] ficou expressamente previsto que somente devem ser protegidas como APPs as

faixas marginais dos cursos d'água naturais, eliminando a dúvida quanto aos regos e canais artificiais”.

Este mesmo autor destaca ainda duas outras situações que precisaram de esclarecimentos, a destacar que “[...] a medição das faixas marginais de APP's passou a ser da borda da calha do leito regular dos cursos d'água, deixando de ser a partir do nível mais alto em faixa marginal, como acontecia sob a égide da antiga lei, o que dificultava muito a sua delimitação” e também que “[...] a situação dos lagos e lagoas naturais passou a ser expressamente definida por lei, o que não acontecia, ficando claro que, quanto aos reservatórios artificiais prevalece o disposto no respectivo licenciamento ambiental”.

De acordo com o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012) a delimitação das APPs contempla áreas de florestas e outras formas de vegetação, surgidas naturalmente em seu local de ocorrência, situadas às margens de lagos, rios, e no entorno de nascentes (perenes); nos topos de morros com declividade superior a 25 graus e elevação acima de 100 m; nas restingas e manguezais; nas encostas com declividade acentuada com inclinação maior que 45 graus; e nas bordas de tabuleiros ou chapadas e nas áreas em altitude superior a 1.800 metros, independente da cobertura vegetal.

Existem mais dois dispositivos legais que complementam o Novo Código Florestal, são a Lei Nº 12.727, de 17 de Outubro de 2012, e o Decreto 7.830 de 17 de Outubro de 2012 (Brasil, 2012). Esse novo Código Florestal manteve a essência da proteção da vegetação natural no entorno das hidrografias se equiparado ao código antigo, no entanto trás em seus dispositivos uma série de regras para a recomposição das APPs quando degradadas. A recomposição florestal das faixas de vegetação ao longo do curso d'água que antes era igual para todas as propriedades, hoje depende de uma série de fatores, dentre eles o modulo fiscal do município o tamanho da propriedade e o ano do desmatamento.

Para Estevam e Pereira (2015) as legislações ambientais têm por objetivo disciplinar e limitar as interferências antrópicas negativas no meio ambiente, principalmente em áreas que possuem importantes funções

ambientais, como a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica, da biodiversidade e do fluxo gênico de fauna e flora, além de proteger o solo contra a ação do processo erosivo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Sendo assim, a delimitação de algumas porções do território e limitação de uso de seus recursos tem se tornado uma estratégia relevante de proteção do meio ambiente. Além disso, como produzem espaços de dinâmicas específicas e com uma administração diferenciada, a criação dessas é considerada importante estratégia de ordenamento territorial pelo Estado, na medida em que estabelecem limites e restrições para o uso e a ocupação do espaço (MEDEIROS e YOUNG, 2011).

2.5 Geotecnologias e Sistemas de Informações Geográficas

O uso de programas computacionais relacionados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) se consolidaram como importantes ferramentas ambientais, principalmente pela agilidade e acurácia das informações geradas.

Amplamente empregados no mapeamento e monitoramento dos recursos naturais terrestres, estas técnicas têm sido aplicadas em estudos espaço-temporais relacionados ao uso e à ocupação da terra com variadas finalidades, dentre elas o subsídio a ações de recuperação de áreas degradadas, ordenação espacial e identificação de usos irregulares perante a legislação ambiental vigente (REIS et al., 2012; BARROS et al., 2013; LUPPI et al., 2015).

Por meio desses programas é possível caracterizar os componentes que formam uma determinada paisagem. Portanto, é possível classificar os usos da terra e relacionar com outros fatores (bióticos e abióticos) que constituem uma bacia, por exemplo (LORCA NETO, 2013).

Para Fushita e Santos (2015) a modelagem da dinâmica do uso da terra através de técnicas de geoprocessamento constituem ferramentas fundamentais para a análise do padrão espacial e, conseqüentemente, a

condição de sustentabilidade ecológica de uma unidade de gerenciamento da paisagem.

De acordo com Mas e Sandoval (2011) possibilitam, ainda, identificar e avaliar as consequências das atividades antrópicas na biodiversidade, nos ciclos biogeoquímicos e na qualidade do recurso hídrico nas áreas mais suscetíveis às mudanças, bem como, subsidiar a compreensão das alterações da performance dos processos ecológicos, com base em simulações projetadas para diferentes cenários.

O SIG fornece ferramentas computacionais que subsidiam as análises ambientais. Exemplo foram os desenvolvidos por Sartori, Silva e Zimback (2012), que utilizaram a abordagem multicritério para identificação de áreas prioritárias à recomposição florestal. Trabalho semelhante foi desenvolvido por Catelani et al. (2012) na bacia do rio Una/SP, utilizando o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas).

Atualmente, a conversão de florestas para a agricultura tem se tornado um dos maiores problemas e um dos principais temas no debate sobre mudanças ambientais. Neste sentido, as Geotecnologias tem sido amplamente empregadas na identificação de áreas disponíveis para a expansão agrícola no Brasil. Exemplo são os trabalhos desenvolvidos por Lambim et al. (2013), Macedo et al. (2012) e Martini, Moreira e Dalla-Nora (2015).

Especificamente para APPs muitos trabalhos foram realizados utilizando técnicas de geoprocessamento na elaboração de mapas ambientais. Eugenio et al. (2011) trabalhou com identificação de APPs no município de Alegre/ES; Vieira et al. (2011) delimitou APPs em topo de morro na região norte do Espírito Santo; Coutinho et al. (2013) caracterizou o uso da terra na Bacia do Rio da Prata, município de Castelo/ES.

Gosch e Ferreira (2015) verificaram a evolução temporal da cobertura florestal num importante assentamento rural em Goiás, o Umuarama. Para tanto, empregaram dados de sensoriamento remoto para os anos de 1989, 2000 e 2010. Ao final concluíram que o ritmo de desmatamento diminuiu ao longo dos anos e que a cobertura vegetal nativa da reserva legal foi respeitada.

Santos et al. (2015) utilizaram informações do Cadastro Ambiental Rural (CAR) para monitorar a capacidade de suporte, as emissões das guias de transporte animal (GTA) e identificar a concentração de rebanho no estado do Pará. Ao final obteve um mapa de fluxo de movimentação bovina, possibilitando ações de fiscalização sanitária.

Para Vaeza et al. (2010), no estudo detalhado de pequenas áreas, ou seja, com menor escala é fundamental a utilização de imagens de satélite de alta resolução, pois permite identificar alvos que em satélite de média e baixa resolução seriam despercebidos, como por exemplo, pequenas áreas utilizadas por atividades antrópicas e fragmentos florestais, curso d'água, reservatório naturais e artificiais.

Goularte et al. (2013), na delimitação de uma sub-bacia em Goiás, afirma que a utilização de programa computacional de SIG para geração automática de bacias hidrográficas, a partir dos modelos SRTM, apresentou um resultado satisfatório, pois, ao mesmo tempo em que proporciona uma economia de tempo automatiza os processos mecânicos, reduz o número de pessoas envolvidas no trabalho e diminui a subjetividade da delimitação.

Pareta e Pareta (2011) destaca a importância das técnicas de geoprocessamento para avaliação de diversos parâmetros morfométricos de bacias de drenagem e de bacias hidrográficas, visto que elas proporcionam um ambiente flexível e constituem uma ferramenta poderosa para a manipulação e análise da informação espacial.

Outros autores, em estudos que envolviam delimitação de bacias hidrográficas, também relataram os benefícios desta técnica (ALVES SOBRINHO et al., 2010; MARCUZZO et al., 2010; CARDOSO e MARCUZZO, 2011; TALON e KUNTSCHIK, 2011; MARQUES et al., 2011; DE SOUZA et al., 2013; PERINI et al., 2013; MARCUZZO e CARDOSO, 2013; SILVA e MOURA, 2013).

A utilização destas ferramentas possibilita a formação de um banco de dados que subsidie o planejamento, tornando-o mais dinâmico e eficiente. Desta forma é possível monitorar e avaliar, as tomadas de decisão, objetivando a eficiência do gerenciamento dos recursos naturais, uso e ocupação do solo.

2.6 Modelos Digitais de Elevação

Segundo Luiz, Santos e Brener (2007) o Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação (z).

Para Valeriano (2004), os MDEs são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude ou cota do relevo, para que seja uma representação da topografia.

Conforme observado por Nunes (2013), a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) é uma técnica recente dentro das geotecnologias. Para geração dos primeiros modelos era necessária a digitalização dos dados topográficos coletados em campo. Essa técnica ainda é aplicada para se gerar MDE, porém pelo seu alto custo e pela lentidão no processo de geração, vem sendo substituída por métodos automatizados.

A fonte de dados mais comum para a geração de MDEs no Brasil, segundo Chagas (2010), são as curvas de nível e, de forma complementar, a rede hidrográfica, obtidas em cartas topográficas, principalmente as elaboradas pelo IBGE. Além desses métodos, há ainda os oriundos do sensoriamento remoto orbital, sendo exemplos de MDEs com acesso livre na internet, o MDE do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*, e o MDE Topodata que é um refinamento do MDE oriundo do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*.

A automação tem como vantagem a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais (MOREIRA, 2006). Um dos principais empecilhos ao uso dos MDEs brutos é a discordância entre o traçado da hidrografia mapeada e o trajeto de escoamento superficial derivado numericamente (SAITO, 2011).

O MDE gerado deve ser fiel na representação do relevo e deve assegurar a convergência do escoamento superficial para e ao longo da drenagem mapeada, garantindo, assim, a sua consistência hidrológica (CHAVES, 2002). Este autor, considera que o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) pode ser definido como a melhor representação digital do relevo capaz de reproduzir, com a máxima exatidão, o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado em situações reais. A utilização de MDEHCs possibilitam a obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem (MARQUES e SILVA, 2007).

O processo de modelagem de MDEHC pode ser definido em cinco fases: a amostragem dos dados digitais altimétricos e da rede de drenagem; o pré-processamento dos dados; a geração do MDEHC com o uso de um interpolador; o pós-processamento do MDEHC gerado e a validação do MDEHC ou a sua aplicabilidade (CHAVES, 2002; BAENA, 2002; PIRES et al., 2005; MOREIRA, 2006).

A amostragem abrange a obtenção de amostras representativas do fenômeno de interesse. Geralmente essas amostras estão representadas por curvas de isovalores e pontos tridimensionais. O pré-processamento consiste em organizar os dados de entrada para que todos os dados digitais estejam consistentes e com qualidade e estrutura mínimas aceitáveis.

A modelagem abrange a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste, e tem como objetivo obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise contidos nos SIG's. Os modelos mais utilizados são os modelos de grade regular retangular e os modelos de grade irregular triangular.

O pós-processamento tem por objetivo eliminar imperfeições geradas na etapa anterior como as chamadas depressões espúrias e, busca-se também nesta etapa, garantir a coincidência espacial da drenagem numérica do modelo com a drenagem vetorial digital, compiladas das bases cartográficas.

Na etapa de validação do modelo gerado pode ser realizada por simples reconhecimento visual, por validações cruzadas baseadas em relações de vizinhança, por superposição de curvas de nível ou por comparação estatística com pontos de controle (PIRES et al., 2005).

2.7 Interpoladores de Dados Espaciais

A partir de dados transformados para o formato digital, são utilizados programas computacionais por meio de interpoladores, conferindo-lhes uma continuidade desejada para a geração do MDEHC. Para Santos e Linhares (2012), a interpolação espacial é o processo de utilização de pontos com valores conhecidos para estimar valores em outros pontos, ou ainda, um conjunto de técnicas que visam a criação de superfícies contínuas a partir de amostras pontuais.

Segundo Longley et al. (2005), os interpoladores são, de forma geral, utilizados em aplicações de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para estimar valores para regiões onde não existem informações através da proximidade com locais onde existem dados.

Os resultados obtidos por Chaves (2002), Pires et al., (2005), Moreira (2006) e Coutinho (2010) indicam o interpolador *Topo to Raster* (TR), como o de melhor desempenho para consistência hidrológica. Corroborando com essa ideia, Saito (2011) realizou a comparação entre os interpoladores Inverso do Quadrado da Distância (IQD), *Krigagem*, *Spline* (Curvatura Mínima), Triangulação de *Delaunay* e *Topo to Raster*, sendo o último indicado para a geração de MDEHC.

Segundo Melati e Marcuzzo (2015), a ferramenta *Topo to Raster* baseada no algoritmo *anudem* é o melhor dos métodos atualmente utilizados para estimação de altimetria, também segundo ESRI (2014) esse é o método interpolador que melhor representa a drenagem natural de superfícies.

O algoritmo de interpolação TR está disponível no programa *ArcGIS®*, em seu módulo *ArcToolbox*. É uma implementação de um interpolador desenvolvido por Hutchinson (1989) em seu programa *Australian National*

University (ANUDEM), criado para obter uma melhor representação da característica anisotrópica (ou direcional) do relevo (SAITO, 2011).

O método TR usa uma técnica de interpolação por diferenças finitas aperfeiçoada para ter a eficácia de um método de interpolação global, como o inverso do quadrado da distância, sem perder a continuidade da superfície dos métodos de interpolação globais, como *Spline* e *Krigagem* (ESRI, 2013). Foi especificamente projetado para criar um MDEHC, pois diferencia-se de outros interpoladores por não formar discontinuidades nas superfícies e, ainda, pode ter sua modelagem de drenagem acoplada a outras formas de representação, a exemplo da rede hidrográfica original de cartas topográficas (REDIVO et al., 2002).

Segundo ESRI (2013), o TR permite diagnosticar prováveis erros oriundos da base de dados. Os principais erros que outrora eram encontrados apenas pela visualização das cartas e respectivos dados, são indicados automaticamente pelo programa. Entre outros, se destacam os erros na orientação da hidrografia, os conflitos entre curvas de nível (CN) e hidrografia e, ainda, erros e inconsistências topológicos das CN. Isto torna o processo de obtenção do MDE mais rápido e criterioso, pois após identificados e corrigidos os erros, repete-se o processo de interpolação até que estes sejam sanados, obtendo-se então o MDEHC.

2.8 Base de Mapas

2.8.1 World Imagery

A base cartográfica World Imagery é mantida pela ESRI, com utilização gratuita a partir do ArcGis Online. Formada por imagens de satélite e fotografias aéreas, esta base inclui imagens Blue Marble Next Generation da NASA com 500 metros de resolução para escalas pequenas (1:1.000.000 ou menor), i-cubed eSAT Imagery de 15m de resolução para médias e grandes escalas (1:70.000 ou maior), e imagens USGS Landsat de 15m de resolução para a Antártica. Para as áreas com alta resolução, a base possui imagens (Precision Aerial) de 0,3 metros de resolução para os EUA (continental) e

imagens com 0,6m de resolução em partes da Europa Ocidental da DigitalGlobe. Em outras partes do mundo a base é composta por imagens QuickBird, GeoEye, Ikonos, i-cubed Nationwide Prime, Getmapping, AeroGRID, IGN Sain e IGP Portugal.

O “i-cubed Nationwide Prime” é um mosaico colorido de imagens comerciais e governamentais para os EUA, composto, para as áreas metropolitanas, por imagens fornecidas pela Aerials Express (fornecedor de serviços de aerofotogrametria e imagens de satélite nos EUA que saiu do mercado em 2010), com resolução de 0,3 e 0,6m, e composto, para as outras áreas, por imagens disponibilizadas pelo Department of Agriculture Farm Services Agency (USDAFSA), National Agriculture imagery Program (NAIP) Imagery and Enhanced Versions of United States Geological Survey (USGS), Digital Ortho Quarter Quad (DOQQ) imagery.

Parte das imagens que compõe a base da ESRI foram disponibilizadas pela comunidade de usuários de SIG. São exemplos destes doadores: NASA, Instituto Geográfico Português, IGN Spain, City of Peterborough, DigitalGlobe, GeoEye, City of Rotterdam, entre outras.

A base da ESRI está em constante atualização e a última, ao concluir o presente texto, foi em dezembro de 2015. A Figura 1 mostra a cobertura das imagens de alta resolução dessa base.

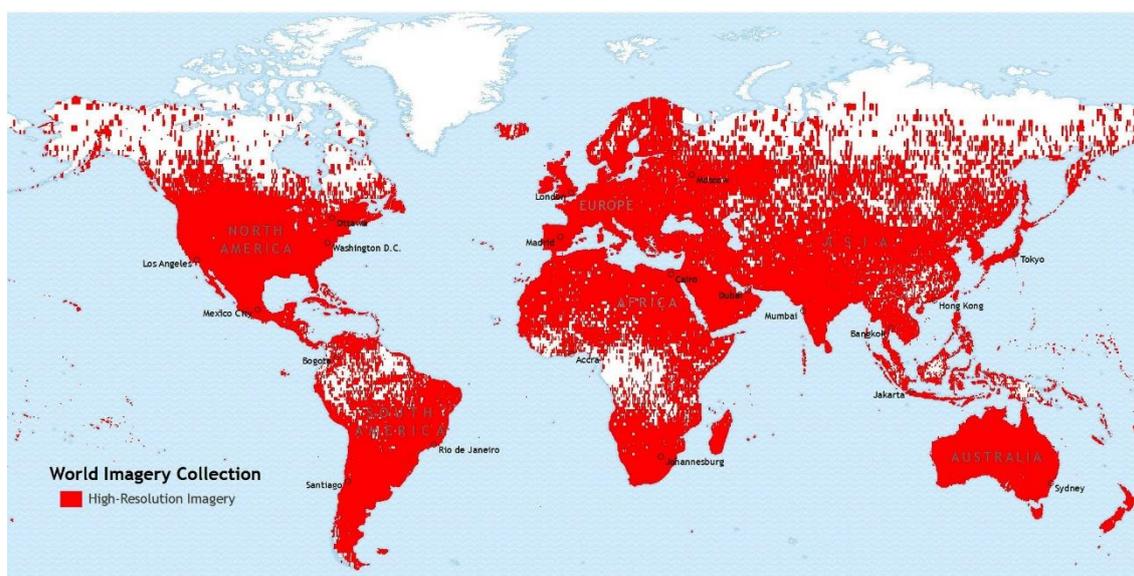


Figura 1: Cobertura da Imagem de alta resolução da Base da Esri

Fonte: <http://downloads.esri.com/blogs/arcgisonline/WorldImageryGlobal_Maps2014Release14.jpg> Acesso em 04/01/2016

2.8.2 Bing Maps

O Bing Maps é um serviço para disponibilização e análise de dados espaciais e de tecnologia para o desenvolvimento de mapas na Web. Este é um produto da Microsoft que alimenta sites que necessitam de mapas e serviços de localização, incluindo o próprio site do Bing Maps.

Com o Bing Maps pode-se pesquisar, navegar e organizar informações visualizadas em 2D ou 3D, permitindo encontrar de forma eficaz os dados relevantes para a análise espacial do usuário. Para as áreas terrestres é formada de imagens de média resolução (Landsat e Spot), de imagens de satélite de alta resolução e de ortofotos.

Segundo os metadatos da Base Bing Maps (disponibilizadas pelo ArcGis Online), a cobertura varia conforme a região, sendo mais detalhada nos EUA (Estados Unidos da América) e no reino Unido. A cobertura em um mesmo país também varia quanto aos detalhes, baseada na oferta de imagens para a região. O Bing Maps também está continuamente adicionando imagens em novas áreas e atualizando imagens em áreas já existentes.

Segundo o site Bing Maps World Tour, o Bing Maps atualiza a sua base com periodicidade de alguns meses, expandindo as áreas com imagens de maior resolução ou atualizando áreas com imagens mais recentes. Cada atualização pode conter mais de 10Tb de imagens.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Cricaré, localizada entre as coordenadas geográficas 40°5'31" e 41°32'30" de longitude Oeste e 18°20'34" e 18°56'58" de latitude Sul, Datum SIRGAS 2000, Fuso 24K. Que posteriormente foram convertidas para o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM).

Com uma área de 4538,02 km² (Figura 1), é formada pelo rio Cricaré e seus afluentes, cuja nascente está localizada em Minas Gerais, a cerca de 1000m de altitude. Compreende os municípios mineiros de Mendes Pimentel, Central de Minas, Nova Belém, São João de Manteninha, São Félix de Minas, Mantena e Itabirinha de Mantena. A extensão capixaba compreende os municípios de Água Doce do Norte, Barra de São Francisco, Mantenópolis, Vila Pavão, Nova Venécia e São Mateus

A região abrangida tem, basicamente, dois tipos climáticos: o tropical úmido (chuvoso), nas proximidades do litoral, e o tropical sub-úmido, com estação seca no inverno, nas cabeceiras. O índice pluviométrico anual médio varia de 1300 mm, na faixa litorânea, a 800 mm, próximo às nascentes.

De maneira geral, estão estabelecidas na área culturas de subsistência, café, eucalipto e, predominantemente, pastagens, além dos remanescentes florestais nativos. A economia regional apesar de ser voltada, prioritariamente, para a pecuária, possui atividades diversificadas. A principal delas é a extração de granito para exportação. Além disso, há na região grandes áreas de reflorestamento, projetos dispersos de fruticultura, café e cereais bem como destilarias de álcool.

O relevo é bastante acidentado na divisa de Minas Gerais com o Espírito Santo, próximo a cidade de Mantena (Maciço Montanhoso de Mantena), onde predominam atividades de mineração e garimpo. No baixo curso, o relevo é suave-ondulado e plano, fato este decisivo para tornar a região alvo de um acelerado e indiscriminado processo de desmatamento, ocorrido os últimos 50

anos. Hoje a região está quase toda desprovida de cobertura nativa e apresenta muitos focos de erosão.

LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MATEUS - BRAÇO SUL

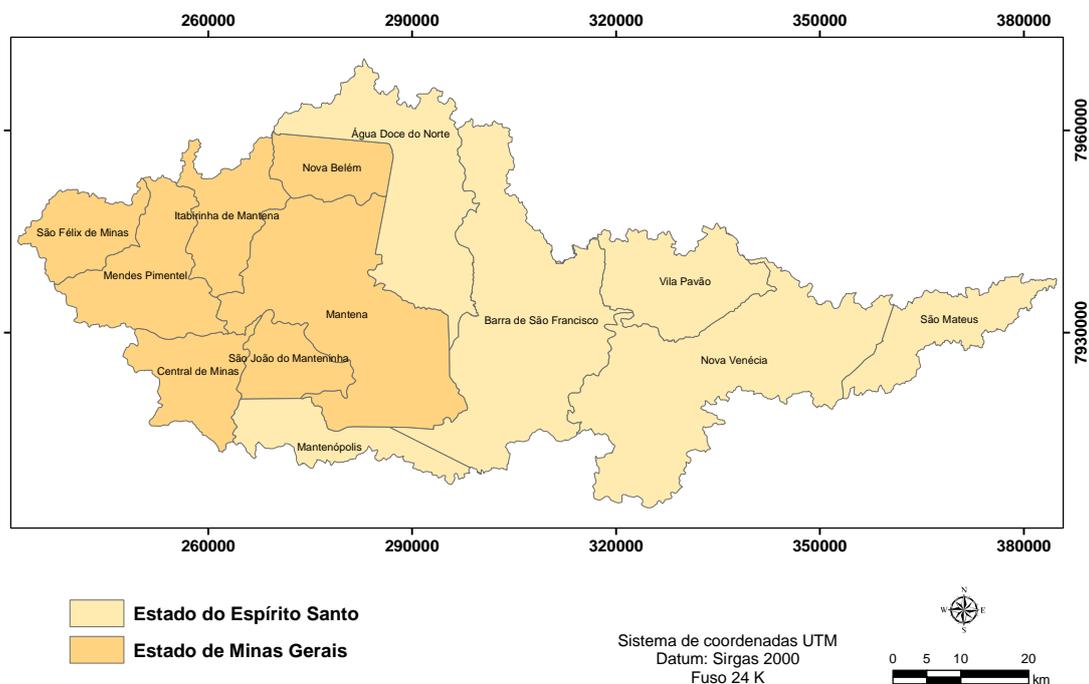


Figura 2: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Cricaré

3.2. Obtenção do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)

A etapa inicial consistiu na seleção dos arquivos resultante do projeto TOPODATA, gerado através de processamentos digitais do MDE – SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e disponibilizados no site do INPE na resolução 30 x 30m (1 arco-segundo). A manipulação das imagens e obtenção do MDEHC foi realizada empregando-se as funções matemáticas presentes no software Arcgis® 10.2.2.

Para a área em estudo foram selecionadas as folhas 17S42, 18S405 e 18S42. Posteriormente deu-se início ao trabalho de montagem do mosaico das imagens, com o intuito de gerar uma única imagem representativa da área de estudo. Para tanto, empregou-se os recursos da janela *Image Analysis* do SIG.

As etapas seguintes consistiram na definição da referência espacial e na conversão radiométrica. Utilizando a ferramenta *Define Projection*, presente no ArcToolbox, foi definido o sistema de coordenadas planas SIRGAS_2000_UTM_Zone_24S. A conversão de Float 32 Bits para Unsigned 16 Bits (inteiro de 16 Bits não sinalizado) foi possível utilizando-se a ferramenta *Copy Raster*.

A área de abrangência do MDE correspondente a área de interesse foi delimitada através da ferramenta *Extract by Masc* e utilizou como máscara de entrada o shapefile da bacia hidrográfica do Rio São Mateus.

Decorrida a delimitação do MDE, a hidrografia mapeada (vetorial) foi rasterizada com o auxílio da ferramenta *Features to Raster* e afinada numa única célula de largura, com o objetivo de facilitar ao software a identificação do caminho preferencial para escoamento superficial, empregando-se para tal processamento a ferramenta *Thin*.

Após a afinação da hidrografia aprofundou-se a calha da rede de drenagem tornando-se o MDE propenso a conduzir o escoamento superficial até as calhas profundas e recém-afinadas. Para tanto empregou-se o módulo ArcToolbox – *Spatial Analyst Tool – Math – Times and Minus*.

Na sequência, o MDE foi transformado para arquivo shapefile (*.shp) de pontos e interpolado através do algoritmo *Topo to Raster* com a hidrografia mapeada, tendo como limite para o processo de interpolação o contorno da bacia hidrográfica. As operações necessárias para geração do MDHEC por meio desse algoritmo exigiram a orientação dos arcos da rede hidrográfica no sentido do escoamento e o ajuste da altimetria à hidrografia.

Em seguida, foram realizadas operações de pós-processamento com a finalidade de identificar e eliminar depressões espúrias do MDE, decorrente de erros introduzidos no processo de interpolação. As falsas depressões interrompem o escoamento superficial e devem, portanto, ser removidas para se ter um MDE consistente. Para o preenchimento dessas imperfeições utilizou-se o comando *Fill*.

Com a hidrografia aprofundada no MDE e removidas as depressões espúrias, obteve-se o MDEHC. Após, determinou-se a direção de escoamento e o escoamento acumulado, respectivamente, através das ferramentas *Flow Direction* e *Flow Accumulation*.

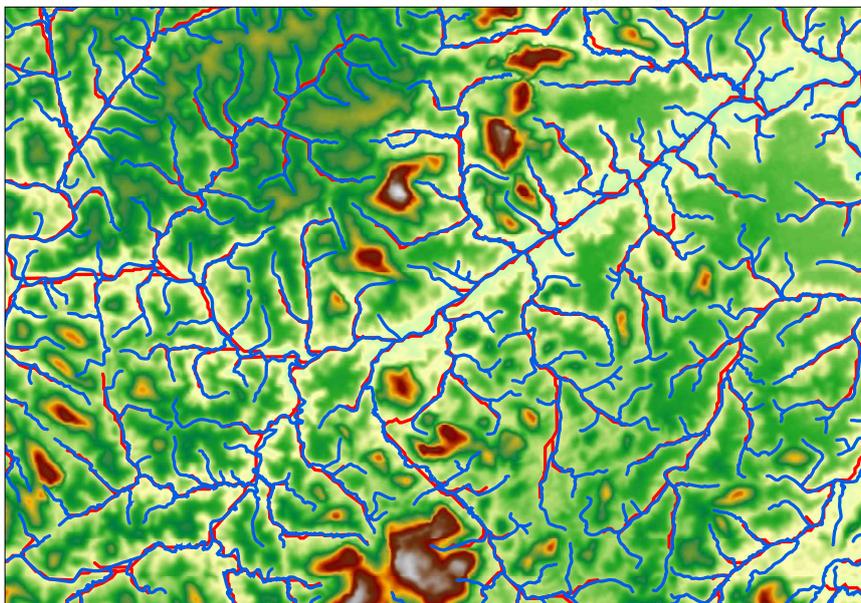


Figura 3: Comparação da hidrografia mapeada (azul) e hidrografia numérica gerada para 500 células (vermelha)

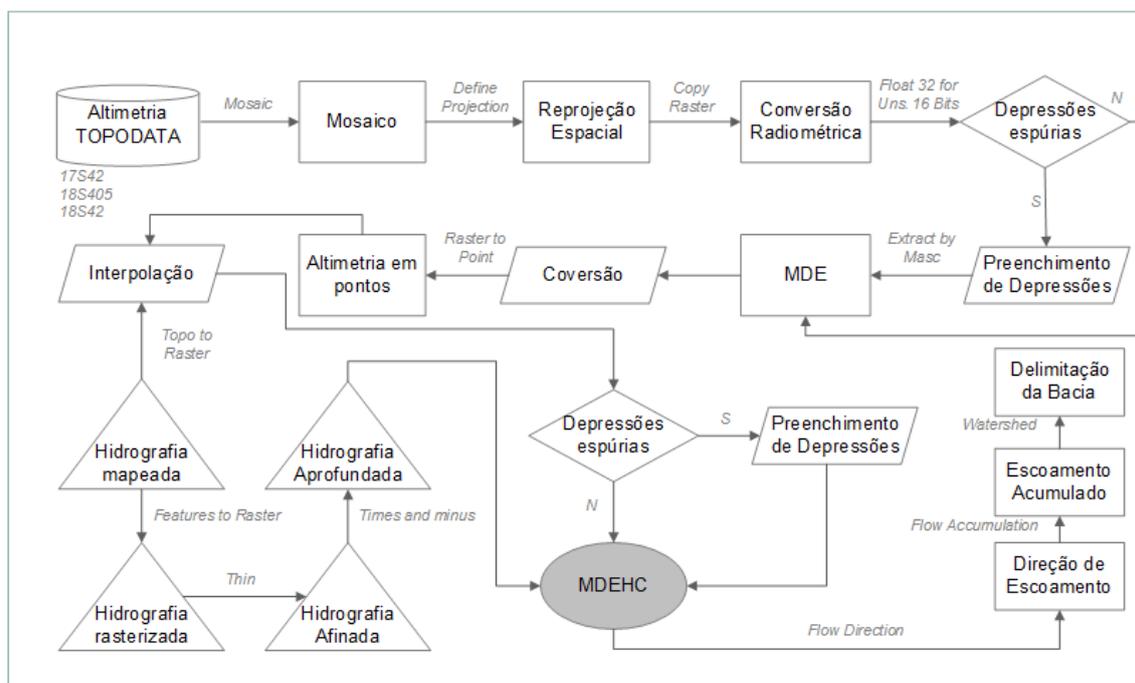


Figura 4: Etapas metodológicas desenvolvidas para obtenção do MDEHC

De posse do MDEHC gerado, comprovou-se a consistência hidrológica realizando a delimitação automática da bacia hidrográfica do rio Cricaré, através dos módulos *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Hydrology – Watershed*, e análise cruzada da hidrografia numérica com a hidrografia mapeada (figura 3).

3.3. Morfometria da Bacia Hidrográfica

O cálculo das características morfométricas, também denominadas orfológicas ou simplesmente físicas, de uma bacia hidrográfica é fator primordial para seu conhecimento. Representa o estudo matemático das formações e configurações de uma bacia hidrográfica e sua interpretação traz informações relevantes na relação solo-superfície. Foi expressa em índices divididos em 3 grupos, sendo eles: a) os que indicam característica geométricas; b) os que indicam características da rede de drenagem e; c) os que expressam características do relevo.

3.3.1 Características Geométricas

As características geométricas refletem o comportamento hidrológico da bacia em termos gerais, tanto relacionado com o escoamento quanto com o armazenamento da água. Os principais índices geométricos calculados foram: área de drenagem (A); perímetro (P); coeficiente de compacidade (Kc); fator de forma (Kf); razão de alongação (Re); índice de circularidade (Ic); índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO).

3.3.1.1 Área de drenagem (A) e Perímetro (P)

A área de drenagem da bacia hidrográfica consiste na área plana, inclusa entre os divisores topográficos que a limitam. É um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica, uma vez que a multiplicação dessa área pela altura da lâmina d'água precipitada define o volume recebido pela bacia. Assim como a área de drenagem, o perímetro fornece subsídios para a avaliação do nível de irregularidade que a forma da

bacia apresenta e constituem os elementos básicos para o cálculo das demais características físicas. Estas variáveis morfométricas foram obtidas de forma automática através da ferramenta *Hidrology* do ArcGis® 10.2.2, e necessitaram da base de dados de “direção de fluxo” e “fluxo acumulado”, obtidas durante a etapa de processamento do MDEHC.

3.3.1.2 Coeficiente de compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade é definido pela relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo hipotético cuja área seja igual à área de drenagem da bacia em questão. É um parâmetro que indica a susceptibilidade da bacia à ocorrência de enchentes. Bacias que apresentam este coeficiente próximo de 1 são mais compactas, tendem a concentrar o escoamento e são mais susceptíveis a inundações. Foi determinado com base na seguinte equação:

$$K_c = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}} \quad (01)$$

em que:

Kc = coeficiente de compacidade (adimensional);

P = perímetro da bacia (km);

A = área de drenagem (km²).

3.3.1.3 Fator de forma (Kf)

O fator de forma de uma bacia hidrográfica é definido pela relação entre a largura média da bacia e o seu comprimento axial. Bacias alongadas apresentam pequenos valores do fator de forma e são menos susceptíveis às inundações, uma vez que se torna menos provável que uma chuva intensa cubra toda a sua extensão. Foi determinado com base na seguinte equação:

$$K_f = \frac{A}{L \times x^2} \quad (02)$$

em que:

Kf = fator de forma (adimensional);

L_{ax} = comprimento axial da bacia (km).

3.3.1.4 Razão de alongação (Re)

Razão de alongação é a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia. Assim como o Kf, este índice mostra a susceptibilidade da bacia à enchentes tomando por base sua forma. Quanto maior o valor de Re, mais próximo de um círculo a bacia será e maior será a probabilidade de enchente, enquanto valores menores assumidos pela Re se deve a uma bacia mais alongada e menos susceptível a cheias. Foi determinado com base na seguinte equação:

$$Re = 1,128 \left(\frac{A^{0.5}}{L_{ax}} \right) \quad (03)$$

em que Re é a razão de alongação (adimensional).

3.3.1.5 Índice de circularidade (Ic)

Esse índice representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica. Similarmente ao coeficiente de compactidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. Foi determinado com base na seguinte equação:

$$Ic = \frac{12,57A}{P^2} \quad (04)$$

em que:

Ic é o índice de circularidade (adimensional);

P = perímetro da bacia (km).

3.3.1.6 Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO)

Este índice apresenta significância para descrever e interpretar tanto a forma como o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica.

O seu significado advém do fato de podermos utilizar figuras geométricas simples como ponto de referência. Quando o valor do ICO estiver próximo de 1,0 a bacia apresenta forma semelhante a um quadrado; quando o valor for acima da unidade, mais alongada será a forma bacia. Pode ser calculado dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área, conforme a Equação 05, onde o diâmetro da bacia equivale ao diâmetro da circunferência de mesmo perímetro da bacia.

$$ICO = \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (05)$$

em que ICO é o índice entre comprimento e a área da bacia.

3.3.2 Características da Hidrografia

As características do padrão de drenagem ou da hidrografia, repercutem no comportamento hidrológico e litológico de cada bacia. As principais características hidrográficas estudadas foram: comprimento total da hidrografia e do canal principal; densidade de drenagem (Dd); densidade hidrográfica (Dh); coeficiente de torrencialidade (Ct); densidade de confluências (Dc); sinuosidade do curso d'água (SIN); índice de sinuosidade (IS); coeficiente de manutenção (Cm) e; ordem dos curso d'água.

4.3.2.1 Comprimento total da hidrografia e do canal principal

Estes fatores estão diretamente relacionados com a eficiência do sistema de drenagem e o tamanho da bacia hidrográfica respectivamente. Após a hierarquização dos cursos d'água no ArcGis® utilizou-se a ferramenta estatística da tabela de atributos para seccionar a rede de drenagem e os trechos pertencentes ao rio principal. O somatório dos valores encontrados correspondeu ao comprimento total da hidrografia. O comprimento total do canal principal foi obtido de forma semelhante, selecionando os trechos correspondentes ao rio principal, da nascente a foz.

4.3.2.2 Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é obtida dividindo-se o comprimento total dos cursos d'água da bacia hidrográfica, incluindo-se os perenes, intermitentes e efêmeros, pela área de drenagem. Quanto maior a densidade de drenagem ou a densidade de confluências de uma bacia maior a capacidade dos cursos d'água que a constituem drenarem o escoamento superficial diminuindo a possibilidade de ocorrência de enchentes. Foi determinada com base na seguinte equação:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (06)$$

em que:

L = comprimento de cada curso d'água (km);

Dd = densidade de drenagem (km km⁻²).

3.3.2.3 Densidade Hidrográfica (Dh)

Também chamada de frequência de canais ou densidade de rios, corresponde à relação entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica. Segundo Christofolletti (1974), a densidade hidrográfica é importante, pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão. Foi determinada com base na seguinte equação:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (07)$$

em que:

Dh = densidade hidrográfica (nº de cursos d'água por km²);

N = número de cursos d'água.

3.3.2.4 Coeficiente de torrencialidade (Ct)

Permite quantificar a tendência de uma bacia hidrográfica em relação à ocorrência de inundações, através da multiplicação da densidade hidrográfica pela densidade de drenagem. Tal tendência será tanto maior quanto maior for o valor do Ct, tendo este parâmetro grande importância em pequenas bacias, devido ao tempo de torrencialidade ser mais reduzido.

$$Ct = Dh \cdot Dd \quad (08)$$

em que Ct é o coeficiente de torrencialidade (adimensional).

3.3.2.5 Densidade de Confluência (Dc)

A Dc é considerada uma forma mais simples de representar a densidade de drenagem de uma bacia e é obtida dividindo-se o número de confluências ou bifurcações da rede de drenagem pela área da bacia. Foi determinada com base na seguinte equação:

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad (09)$$

em que:

Dc = densidade de confluências (nº confluências por km²);

Nc = número de confluências da rede de drenagem.

3.3.2.6 Relação de bifurcação (Rb)

Relação de bifurcação é a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior. Christofletti (1980) indica que o resultado não poderá ser inferior a dois, utilizando a hierarquização fluvial de Strahler.

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad (10)$$

em que:

Rb = relação de bifurcação, adimensional;

Nu = número de segmentos de determinada ordem; e

$Nu+1$ = número de segmentos da ordem imediatamente superior.

3.3.2.7 Relação ponderada de bifurcação (Rpb)

Este parâmetro foi definido com o objetivo de encontrar um índice de bifurcação mais representativo que a relação de bifurcação. Para Christofolletti (1980) este índice é obtido conforme mostra a Equação 11, onde multiplica-se a Rb de cada conjunto de duas ordens sucessivas pelo número total de canais envolvidos nessa relação. Após a multiplicação de todas as ordens da bacia estudada, divide-se a soma total dos produtos obtidos pela soma total de canais encontrados na bacia. O valor médio encontrado é a relação ponderada de bifurcação.

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad (11)$$

em que:

Rpb = relação ponderada de bifurcação, adimensional;

Rbi = relação de bifurcação de um conjunto de duas ordens sucessivas;

Ni = número total de canais envolvidos na relação.

3.3.2.8 Relação entre o comprimento médio dos canais (Rlm)

É a relação entre os comprimentos médios dos canais de determinada ordem e o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior (Equação 12).

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad (12)$$

em que:

Rlm = relação média entre os comprimentos dos canais, adimensional;

Lmw = comprimento médio dos canais de determinada ordem;

Lmw-1 = comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

3.3.2.9 Relação entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (Rib)

A Rib é determinada conforme Equação 13, sendo um importante fator na relação entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas (ALCÂNTARA e AMORIN, 2005).

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad (13)$$

em que Rib é a relação entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, adimensional.

3.3.2.10 Sinuosidade do curso d'água (SIN)

A sinuosidade do canal principal é um fator controlador da velocidade do fluxo de água pois quanto maior a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo deslocamento da água no seu caminho até a foz, implicando numa menor velocidade. Foi obtida pela relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de seu talvegue (comprimento reto do canal medido da nascente até a foz), conforme a seguinte equação:

$$SIN = \frac{Lp}{Lt} \quad (14)$$

em que:

SIN = sinuosidade do curso d'água (adimensional);

Lp = comprimento do canal principal (km);

Lt = comprimento do talvegue (km).

3.3.2.11 Índice de Sinuosidade (IS)

Para comparação entre rios diferentes utiliza-se o índice de sinuosidade. Foi obtido conforme (Equação 15), expresso em porcentagem em relação ao comprimento total do rio.

$$IS = \frac{100 \cdot (Lp - Lt)}{Lp} \quad (15)$$

em que I_s é o índice de sinuosidade (porcentagem).

3.3.2.12 Coeficiente de Manutenção (C_m)

O coeficiente de manutenção dos canais (C_m) foi proposto por Schumm (1956), como o inverso da densidade de drenagem (Equação 16), indicando que à medida que vai aumentando a dissecação do relevo, vai diminuindo a área disponível para o entalhamento de novos canais, ou seja, o coeficiente de manutenção indica a área média que permanece isenta de entalhes.

$$C_m = \left(\frac{1}{D_d} \right) \cdot 1000 \quad (16)$$

em que C_m , é o coeficiente de manutenção ($m^2 m^{-1}$).

3.3.2.13 Ordem dos cursos d'água

Reflete o grau de ramificação ou bifurcação da rede de drenagem da bacia, indicando menor ou maior velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo fator indicativo de sua propensão à ocorrência de cheias.

Utilizou-se neste trabalho a classificação apresentada por Strahler (1957), em que os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente.

3.3.3 Características do Relevo

As características do relevo descrevem diferentes comportamentos da paisagem, onde ocorrem processos como o fluxo de materiais em superfície (erosão) e em profundidade (infiltração, lixiviação e translocação). Os principais índices estudados foram: altitude e elevação média da bacia (E); declividade média da bacia; curva hipsométrica; declividade do leito ou álveo do curso

d'água principal; retângulo equivalente (L e lr); índice de alongamento (KI); índice de rugosidade (KD); coeficiente de rugosidade (CR); razão de relevo (Rr); razão de relevo relativo (Rrl); fator topográfico (Ft); textura Topográfica (Tt); razão de textura (T); coeficiente de massividade (Tga); coeficiente orográfico (Co); extensão média do escoamento superficial (I).

3.3.3.1 Altitude e elevação média da bacia (E)

A variação da altitude e a elevação média de uma bacia são importantes pela influência que exercem sobre a precipitação, sobre as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio. A elevação média da bacia foi obtida através do produto do ponto médio entre duas curvas de nível consecutivas e a área compreendida entre elas, dividido pela área total, conforme a seguinte equação:

$$E = \frac{\sum ea}{A} \quad (17)$$

em que:

E = elevação média (m);

e = elevação média entre duas curvas de nível consecutivas (m);

a= área entre as curvas de nível (m²);

A= área total (m²).

3.3.3.2 Declividade média da bacia

Parâmetro que influencia a velocidade de escoamento da água sobre o solo e interfere na capacidade de armazenamento de água neste. Quanto mais declivosas as bacias, menor a capacidade de armazenamento superficial e maior a susceptibilidade a erosão. A declividade média da bacia foi estimada pelo cálculo da média aritmética das declividades de todas as células situadas no interior de cada área de drenagem. Esta etapa pôde ser automatizada em ambiente ArcGIS por meio do comando *Zonal*, mais precisamente do *Zonal Statistics as Table*, da ferramenta *Spatial Analyst*, e utilizou como dados de

entrada os limites de cada área de drenagem e as declividades geradas a partir do MDE.

As classes de declividade foram separadas em seis intervalos distintos, sugeridos pela Embrapa (1979), conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Classificação da declividade segundo a EMBRAPA (1979)

Declividade	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8- 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

3.3.3.3 Curva hipsométrica

A curva hipsométrica é uma forma de se fazer a representação gráfica do relevo médio da bacia hidrográfica. Ela foi traçada a partir da metodologia apresentada em Vilella e Mattos (1975), baseada na divisão da bacia em regiões com altitudes variando em faixas preestabelecidas e na determinação de suas áreas. Para tanto, criou uma tabela da seguinte forma:

- 1º. Definiram-se os intervalos de classes de altitudes (cotas) de 50 em 50 metros (coluna “Cotas (m)”);
- 2º. Calculou-se a altitude (cota) média de cada intervalo de classe pré-estabelecido (coluna “Ponto Med (m)”);
- 3º. Determinou-se quais as áreas da bacia que possuem altitudes dentro das faixas de variação de cotas pré-estabelecidas (coluna “Área (Km²)”);
- 4º. Calculou-se a área da bacia com altitude superior à altitude mínima de cada limite de classe (coluna “Área Acum (Km²)”);
- 5º. Calculou-se qual o percentual da área da bacia ocupada por cada uma das áreas acumuladas (coluna “% Acum”).

3.3.3.4 Declividade do leito ou álveo do curso d'água principal

A velocidade do escoamento em um curso d'água natural depende da declividade da calha fluvial ou álveo. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes. A declividade do álveo foi obtida de quatro maneiras, cada uma com diferente grau de representatividade, sendo elas:

S_1 : linha com declividade obtida tomando a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d' água. Trata-se de um valor pouco representativo para canais com grande variação de declividade.

$$S_1 = \frac{Cotamx - Cotami}{L_p} \quad (18)$$

em que:

L_p = comprimento do canal principal (km);

S_2 : linha com declividade obtida por compensação de áreas, de forma que a área entre ela e a abscissa seja igual à compreendida entre a curva do perfil e a abscissa.

$$S_2 = \frac{At.2}{L_p^2} \quad (19)$$

em que:

At = área formada entre a declividade do curso d'água com a abscissa (m^2);

S_3 : linha obtida a partir da consideração do tempo de percurso; é a média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos, tomando-se como peso a extensão de cada trecho.

$$S_3 = \left[\frac{\sum Li}{\left(\frac{\sum Li}{\sqrt{Di}} \right)} \right]^2 \quad (20)$$

em que:

Li = distancia real medida em linha inclinada (m);

D_i = declividade de cada trecho ($m\ m^{-1}$).

S_4 : obtida de acordo com o método da declividade baseada nos extremos, porém descartando-se 15% dos trechos inicial e final do curso d'água. Isto se deve, pois a maioria dos cursos d'água têm alta declividade próximo da nascente e torna-se praticamente plano próximo a foz.

$$S_4 = \frac{(C85 - C15)}{(L85 - L15)} \quad (21)$$

em que:

C85 = cota na seção do rio principal distante do exutório 85%;

C15 = cota na seção do rio principal distante do exutório 15%;

L85 = comprimento do rio a 85%;

L15 = comprimento do rio a 15%.

3.3.3.5 Retângulo Equivalente (L e l_r)

Com o retângulo equivalente é possível ter uma noção melhor da distribuição de altitudes ao longo da área da bacia. Foi introduzido por hidrologistas franceses com o objetivo de comparar melhor a influência das características físicas da bacia sobre o escoamento. Consiste num retângulo com a mesma área da bacia, sendo as curvas de nível posicionadas de forma paralela ao seu lado menor, respeitando-se a hipsometria natural da bacia. O cálculo seguiu a metodologia proposta por Vilella e Mattos (1975), utilizando as Equações 22 e 23.

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (22)$$

$$l_r = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (23)$$

em que:

L = lado maior do retângulo equivalente (km);

l_r = lado menor do retângulo equivalente (km).

3.3.3.6 Índice de alongamento (KI)

Índice de alongamento é a relação existente entre os lados do retângulo equivalente (Equação 24). Permite a análise da tendência a enchentes de uma bacia hidrográfica, uma vez que quanto mais retangular o seu formato, tanto mais comprida e estreita será a bacia, e assim menor a possibilidade de uma chuva cobrir simultaneamente toda a sua área.

$$KI = \frac{L}{l_r} \quad (24)$$

em que KI, é o índice de alongamento, adimensional.

3.3.3.7 Índice de rugosidade (HD)

O índice de rugosidade combina os parâmetros de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. Valores extremamente altos ocorrem quando ambos são elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas. Foi obtido pelo resultado do produto entre a amplitude altimétrica, que é a diferença de nível da bacia, e a densidade de drenagem.

$$HD = \Delta a \cdot Dd \quad (25)$$

em que:

HD = índice de rugosidade (adimensional);

Δa = amplitude altimétrica (km).

3.3.3.8 Coeficiente de rugosidade (CR)

O risco de degradação ambiental em bacias hidrográficas pode ser estimado pelo CR. Foi obtido pelo resultado do produto entre a densidade de drenagem e sua declividade média.

$$CR = H_{dm} \cdot Dd \quad (26)$$

em que:

CR = coeficiente de rugosidade (adimensional);

Hdm = declividade média da bacia (m/m).

3.3.3.9 Razão de relevo (Rr)

Esta variável está relacionada com as variações topográficas da bacia. Trata-se da relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial da bacia, indicando que quanto mais elevado o valor de Rr, maior o desnível entre a cabeceira e a foz. Dessa forma, esse índice mede a declividade geral de uma bacia de drenagem e é um indicador da intensidade de erosão operando nas vertentes da bacia. Foi obtida conforme metodologia proposta por Strahler (1964), através da seguinte equação:

$$Rr = \frac{\Delta a}{L_{ax}} \quad (27)$$

em que, Rr é a razão de relevo ($m \cdot m^{-1}$).

3.3.3.10 Razão de relevo relativo (Rrl)

Indicativo da movimentação topográfica obtido pela relação entre a amplitude altimétrica e o perímetro da bacia. Foi obtida de acordo com a seguinte equação:

$$Rrl = \frac{\Delta a}{P} \quad (28)$$

em que Rrl, é a razão de relevo relativo ($m \cdot m^{-1}$).

3.3.3.11 Fator topográfico (Ft)

O fator topográfico é a combinação do índice de circularidade com a densidade hidrográfica e a gradiente do relevo expresso pela razão de relevo. Foi calculado conforme Equação 25.

$$Ft = Dh \cdot Ic \cdot Rr \quad (29)$$

em que Ft, é o fator topográfico (adimensional).

3.3.3.12 Textura Topográfica (Tt)

Esta característica define o grau de entalhamento e dissecação do relevo, expressando o espaçamento entre canais de drenagens em mapas topográficos com curvas de nível, sendo encontrada a partir da Equação 30.

$$\text{Log}Tt = 0,219649 + 1,115\text{Log}Dd \quad (30)$$

em que Tt, é a textura topográfica (adimensional).

3.3.3.13 Razão de textura (T)

A razão de textura é a relação do número de segmentos de rios e o perímetro da bacia (Equação 31), onde à medida que o relevo passa de suave ondulado para ondulado, os valores médios da razão de textura (T) aumentam refletindo num mesmo ambiente climático, condição em que a infiltração da água encontra maior dificuldade. O escoamento superficial é mais intenso e provoca, conseqüentemente, maior dissecação hídrica do terreno, aspecto similar ao de ravinas.

$$T = \frac{Nt}{P} \quad (31)$$

em que T, é a razão de textura (adimensional).

3.3.3.14 Coeficiente de massividade (Tga)

O coeficiente de massividade é a relação entre a altura média da bacia e a sua superfície (Equação 32).

$$Tga = \frac{Hm}{\Delta a} \quad (32)$$

em que:

Tga = coeficiente de massividade ($m \ m^{-1}$);

Hm = altura média da bacia (m).

3.3.3.15 Coeficiente orográfico (Co)

O coeficiente orográfico corresponde ao produto da altura média pelo coeficiente de massividade (Equação 33). O coeficiente orográfico tenderá a variar de acordo com o coeficiente de massividade, uma vez que ele depende diretamente do seu valor e o da altura média, que também é utilizada para determinar o coeficiente de massividade. Porém, bacias com valores semelhantes de coeficiente de massividade, poderão apresentar valores diferentes de coeficiente orográfico, dependendo da sua variação de altitude (amplitude).

$$Co = Hm \cdot Tga \quad (33)$$

em que Co, é o coeficiente orográfico, adimensional.

3.3.3.16 Extensão média do escoamento superficial (I)

Pode ser definida como a distância média que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento ocorresse em linha reta, desde o ponto onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer (Equação 34). Embora a extensão do escoamento superficial que efetivamente ocorre sobre os terrenos possa ser bastante diferente dos valores determinados por este índice, ele constitui uma indicação da distância média do escoamento superficial.

$$I = \frac{A}{4L_{tot}} \quad (34)$$

em que I, é a extensão média do escoamento superficial (km).

3.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

De posse dos processamentos realizados nas etapas anteriores, o mapeamento das APP's foi iniciado, a partir das representações cartográficas de hidrografia e do relevo, sendo este representado pelo MDEHC, tendo como base os critérios estabelecidos pela Lei nº. 12.651, de 25 de maio de 2012 a qual dispõe sobre parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanente (BRASIL, 2012). Pata tanto, considerou-se a faixa marginal dos

rios, ao redor das nascentes, nos topo de morros e montanhas (terço superior) e encostas com declividades acima de 45°.

3.4.1 Ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes

As APP's ao longo dos cursos d'água (faixa marginal) foram delimitadas após fotointerpretação em tela e vetorização manual na tela do computador, na escala de visualização 1:2000. Para tanto, utilizou-se fotografias aéreas de julho de 2007, com escala de 1:35.000 e 1 m de resolução espacial, fornecida pelo Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo – GEOBASES e disponibilizadas pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF.

Os cursos hídricos localizados em Minas Gerais, sem cobertura do GEOBASES, foram delimitados utilizando a base cartográfica World Imagery, mantida pela ESRI, e da base do Bing Maps, mantido pela Microsoft, com utilização gratuita a partir do ArcGis Online.

Após a vetorização das linhas correspondentes aos rios e córregos foi utilizado o comando *buffer*, disponível no módulo Arc Toolbox do ArcGIS, para delimitar zonas tampões, conforme disposto no art. 4 da Lei 12.651 e demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 2: APPs de cursos d'água em função da largura do curso hídrico

Largura do Curso d'água (m)	Faixa Marginal (m)
< 10	30
10 > 50	50
50 > 200	100
200 > 600	200
> 600	500

O mapeamento das APP's ao redor das nascentes foi obtido de forma semelhante ao mapeamento das APP's dos cursos d'água. Nessa etapa foram utilizadas as bases de dados correspondentes ao MDEHC, aos pontos relacionados às nascentes (início de cada córrego) e à rede hidrográfica

orientada no sentido da foz. A delimitação das áreas de preservação no entorno das nascentes foi realizada por meio do comando *buffer*, disponível no módulo Arc Toolbox do programa ArcGIS 10.2.2, delimitando-se um raio de preservação de 50 metros no entorno das nascentes.

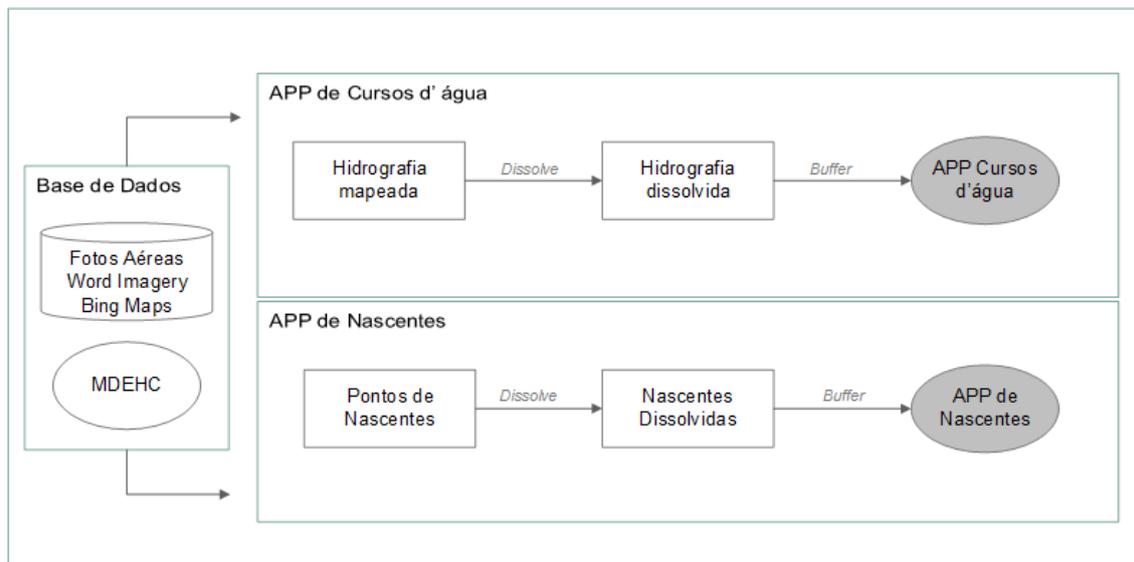


Figura 5: Fluxograma da metodologia utilizada para delimitação das APPs de curso d'água e APP de nascentes

3.4.2 Declividade superior a 45°

De posse do MDEHC, foi inicialmente elaborado o mapa matricial de declividade da área de estudo utilizando-se o comando “*slope*”. Posteriormente realizou-se a reclassificação do mapa de declividade com o objetivo de delimitar apenas a classe de APP superior a 45°. Para tanto, intervalos a partir de 45° receberam o valor 1 e intervalos abaixo de 45° NoData. Na sequência procedeu-se a conversão do raster em shapefile de polígonos, utilizando para tanto a ferramenta *Convert > Raster to Features*.

A etapa final consistiu na dissolução dos polígonos representativos da declividade numa única linha, utilizando a opções *Data Management Tool > Generalization > Dissolve*.

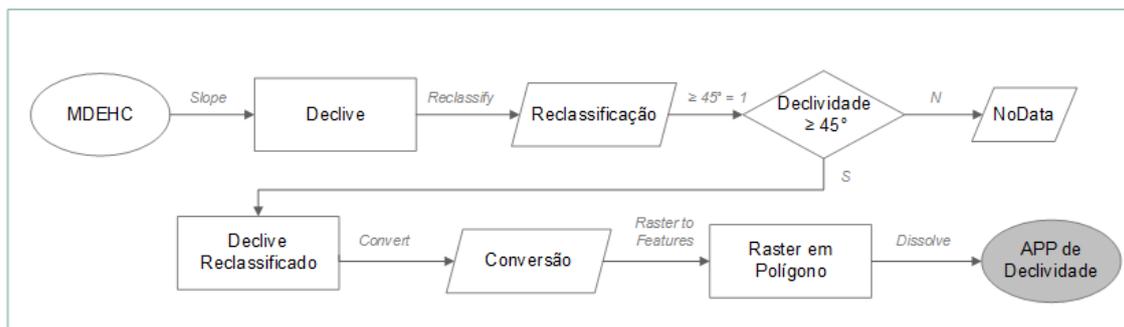


Figura 6: Fluxograma da metodologia utilizada para delimitação das APPs de declividade

3.3.4 Topos de morro

O Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012, trouxe novos parâmetros para a definição das áreas de preservação permanente em topos de morro, bem como foram alteradas a forma de calcular sua delimitação, uma vez que a linha imaginária que define a base do morro agora é dada pela cota do ponto de cota mais próximo à elevação. Além disso, a altura da elevação (topo) em relação à base deve ser superior a 100m e a declividade média deve ser superior a 25°. Importante ressaltar que na legislação revogada bastava que o morro apresentasse declividade superior a 17° na linha de maior declividade e altura mínima de 50 metros para que seu topo fosse considerado APP.

Para a delimitação das áreas de preservação permanente de topo de morro foi adotada a metodologia proposta por Oliveira e Fernandes Filho (2013), a qual exigiu a delimitação da base hidrológica dos morros. Para tanto, foi necessário inverter o MDEHC original, tornado os pontos de topos em fundos de vale e vice-versa. Esta operação foi iniciada através da ferramenta *minus*, resultando num MDE representativo da paisagem invertida. Em seguida foi gerado o raster de direção de escoamento (*flow direction*) e posteriormente executado o comando *basin*, delimitando as bacias de drenagem relativas ao escoamento invertido.

O ponto de cota foi delimitado convertendo o raster gerado na etapa anterior para o formato vetorial utilizando o comando *raster to polygon* e posteriormente em linhas pelo comando *feature to line*. Com a função *zonal*

statistics criou-se um raster com os valores máximos destas linhas e, através da função *raster calculator* buscaram-se as células do MDEHC original, as quais contivessem o mesmo valor, resultando em uma matriz que foi reclassificada (*reclassify*) para o valor “1” e convertida em pontos vetoriais (*raster to point*). Finalmente, com a função *add surface information*, adicionou-se aos pontos suas respectivas altitudes, tomadas do MDEHC original.

Quanto ao ponto representativo do topo, sua obtenção iniciou com função *zonal statistics* e o arquivo “basin_polyg”, representativo da base hidrológica dos morros. Com a função *raster calculator*, de maneira análoga ao que foi feito para os pontos de cela, calculou-se onde esses valores máximos foram iguais ao MDEHC original resultando um raster que foi reclassificado (*reclassify*), convertido para o formato vetorial (*raster to point*) e abastecido com a informação da altitude do ponto obtida do MDEHC original (*add surface information*). O arquivo final foi um *shapefile* de pontos relativos aos topos de morros contendo sua altitude em um campo da janela de atributos.

Atendendo disposto na Lei nº 12.651/2012, a base dos morros é definida pela cota do ponto de cela mais próximo da elevação. Assim, para os arquivos de ponto de cela e topo, utilizou-se o comando *generate near table*, que retorna uma tabela relacionando a todos os pontos de topos e seus respectivos pontos de cela mais próximos. Com a função *join field*, adicionou-se a esta tabela as coordenadas geográficas dos pontos de cela e topos. Tendo sido obtidos o ponto de topo. O ponto de cela mais próximo e suas respectivas altitudes, bastou subtrair as mesmas para ter a diferença de nível entre o topo e a base, que segundo a Lei em vigor deve ser superior a 100m. Estes comandos foram executados pelas funções *add field* e *calculate field*.

Com a função *spatial join* o *shapefile* das bases hidrológicas do morros foi resgatada e à sua tabela de atributos foi adicionada a informação dos pontos de topo e pontos de cela presente no *shapefile* correspondente. Posteriormente este arquivo foi convertido para o formato raster (*polygon to raster*), determinando que o campo contendo a altitude do ponto de cela fosse o valor das células. Na sequência, subtraiu-se a altitude do ponto de cela do

MDEHC com a função a função *raster calculator* e selecionou-se as células em que esta diferença foi igual ou superior a zero.

O último passo deste processo foi selecionar os topos de morro que atenderam o disposto na legislação. Deste modo, primeiramente calculou-se o valor de altitude máxima de cada polígono que representasse a base legal do morro através da função *zonal statistics* e depois recorreu-se a função *raster calculator* para selecionar as células em que a diferença entre o valor máximo calculado e a altitude do ponto de cela foi igual ou maior que 100m.

No que tange a declividade, foi utilizado o raster de declividade gerado nas etapas anteriores. Com as funções *zonal statistics* e *reclassify* a células com valores superiores a 24,99 foram classificadas com valor 1 e todas as demais como “Nodata”.

De posse de um raster contendo morros com altura superior a 100m e outro com aqueles onde a declividade média é superior a 25°, ambos com valores únicos (1), o passo seguinte foi multiplicá-los entre si (*times*). O resultado foi um novo raster (“*times_morro*”) contendo somente os morros onde as das exigências foram satisfeitas. Feito isto, foi preciso definir ainda o terço superior destas áreas.

A determinação do terço superior foi realizada calculando-se a diferença entre a altitude de cada célula no MDE e a altitude da base do morro (definido pelo ponto de cela) com a função *raster calculator*, gerando o raster “*mdehc_min*” Paralelamente, calculou-se a estatística zonal *range* da base legal do morro (*zonal statistics*) no MDEHC original para obter a abrangência da altitude nestes locais, gerando o raster “*range_morro*”. Então, através da função *raster calculator*, executou-se o cálculo “*mdehc_min/range_morro* \geq 0.667”, resultando num raster (“*terço_superior*”) onde o valor 1 representou o terço superior de todas as bases legais dos morros.

Finalmente, multiplicou-se o raster “*times_morro*” pelo raster “*terço_superior*” resultando em outro representativo das APPs de topo de morro na região analisada. Este raster foi então convertido para o formato vetorial (*raster to polygon*). Para melhor entendimento, na Figura 7 é apresentado um fluxograma representativo das funções executadas no ArcGis.

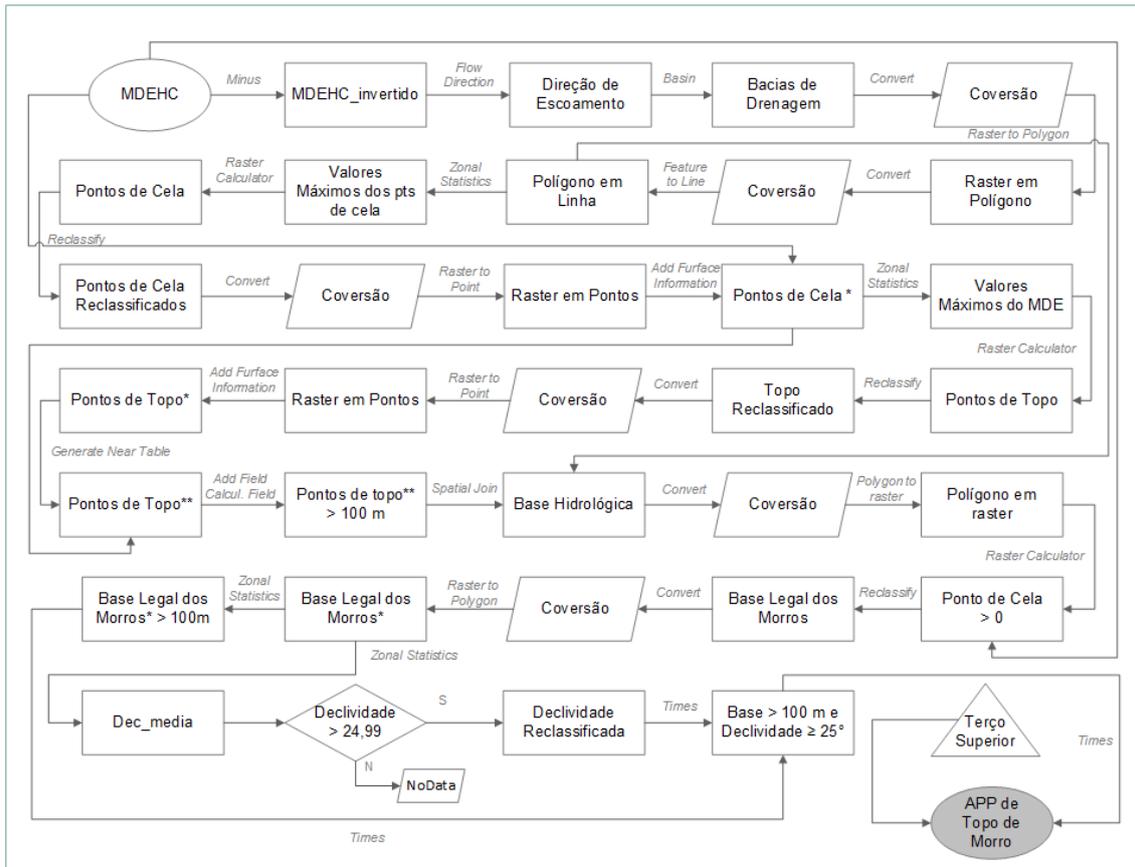
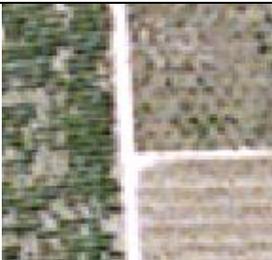
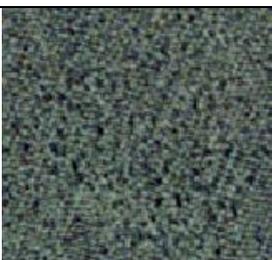


Figura 7: Fluxograma da metodologia utilizada para delimitação das APPs de topo de morro

3.5 Mapeamento das classes de cobertura e uso do solo em APPs

Na geração do mapa temático de uso e cobertura do solo, referente às APPs da extensão capixaba da bacia, foi realizada a classificação visual e a digitalização em tela das imagens obtidas no Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) e na base cartográfica World Imagery, mantida pela ESRI, com utilização gratuita no ArcGis Online. Foram identificadas 6 classes, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Classes de cobertura e uso do solo nas APPs mapeadas

Uso do solo	Chave de interpretação	Descrição
Fragmento Florestal		Área coberta com vegetação natural em diferentes estágios
Área alagada		Áreas temporária ou permanentemente alagadas
Pastagem		Área de pastoreio
Agricultura		Culturas anuais e perenes
Silvicultura		Plantio de Eucalipto
Construções		Casas e benfeitorias

3.5 Elaboração do Mapa de uso e cobertura do solo a partir de imagens do satélite RapidEye

As imagens utilizadas para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo na bacia do Cricaré foram as do satélite RapidEye. De acordo com Embrapa (2008), esses satélites fazem parte de uma missão comercial formada por uma constelação de 5 micro-satélites multiespectrais, o TACHYS (RapidEye 1), o MATI (RapidEye 2), o TROCHIA (RapidEye 3), o CHOROS (RapidEye 4) e o CHOMA (RapidEye 5), lançados em 29 de Agosto de 2008.

Os cinco satélites são dotados de sensores REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), que obtêm imagens da Terra em cinco faixas espectrais: o Azul (440– 510nm), o Verde (520-590nm), o Vermelho (630-685nm), o Red-Edge (690- 730nm) e o Infravermelho Próximo (760-850nm). Possui área imageada de 77,25 km e resolução espacial de 6,5 metros e 5 metros nas ortoimagens. As especificações técnicas dos satélites do sistema RapidEye estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Especificações técnicas gerais dos satélites do sistema RapidEye

Número de Satélites	5
Altitude da Órbita	630 km, órbita síncrona com o Sol
Hora de Passagem no Equador	11:00 hs (aproximadamente)
Velocidade	27.000 km/h
Largura da Imagem	77 km
Tempo de Visita	Diariamente (off nadir); 5,5 dias (nadir)
Capacidade de Coleta	4,5 milhões de km ² /dia
Tipo do Sensor	Multiespectral (<i>pushbroom imager</i>)
Bandas Espectrais	5 (<i>Red, Green, Blue, Red-Edge, Near IR</i>)
Resolução Espacial (nadir)	6,5 m
Tamanho do Pixel (ortorretificado)	5 m
Armazenamento de Dados a Bordo	1.500 km de dados de imagens por órbita
Resolução Radiométrica	12 bits
Velocidade de Download (banda X)	80 Mbps

Fonte: adaptada de Felix et. al., 2009

O *software* ArcGis foi utilizado nas etapas de tratamento e classificação das imagens. A etapa inicial consistiu na aquisição das imagens orbitais do satélite RapidEye no portal do Ministério do Meio Ambiente. Para a área em estudo foram selecionadas as seguintes imagens de julho de 2015: 2430305,

2430306, 2430307, 2430404, 2430405, 2430406, 2430407, 2430408, 2430409, 2430410, 2430503, 2430504, 2430505, 2430506, 2430507, 2430508, 2430509, 2430510, 2430605, 2430606.

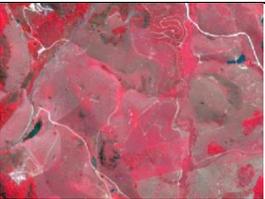
Em função da diferença de tonalidade entre as imagens cada cena foi classificada individualmente. Para tanto, deu-se início a composição colorida RGB (5-4-3), falsa cor em vermelho, e a segmentação cena-a-cena utilizando o algoritmo Mean Shift, disponível no módulo *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > segmentation and Classification > segment mean shift*. A etapa seguinte consistiu no recorte das imagens orbitais a partir do limite da bacia.

Selecionadas as imagens correspondentes a bacia passou-se para a etapa de classificação supervisionada, que consiste na extração de amostras dos pixels para reconhecer padrões e objetos homogêneos, objetivando mapear as áreas da superfície terrestre. O resultado final de uma classificação é uma imagem ou mapa temático, onde os pixels classificados são representados por símbolos gráficos ou cores. Cada cor ou símbolo está associado a uma classe (MENDES e ROSENDO, 2013).

Na classificação supervisionada empregou-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER), o qual é utilizado para análises pixel a pixel. Este algoritmo utiliza apenas a informação espectral isolada de cada pixel para identificar as regiões homogêneas e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

O método de classificação utilizado, por ser supervisionado, depende decisivamente da qualidade da fase de treinamento. Santos et al. (2010) recomenda que as amostras sejam as mais homogêneas possíveis e não incluam limites de transição entre as diferentes feições. Para tanto, foram definidas chaves de classificação para auxiliarem na interpretação da imagem e padronizarem o processo (tabela 5).

Tabela 5: Chave de interpretação das imagens do satélite RapidEye

Uso do solo	Composição Colorida RGB (532)	Descrição
Fragmento Florestal		Cor: vermelho escuro; Textura: rugosa; Forma: irregular.
Solo Exposto		Cor: branco; Textura: lisa; Forma: regular.
Água		Cor: azul; Textura: lisa; Forma: regular.
Área Urbana		Cor: azul claro; Textura: intermediária; Forma: irregular.
Pastagem		Cor: rosa; Textura: lisa; Forma: regular.
Silvicultura		Cor: vermelho; Textura: intermediária; Forma: regular.
Afloramento Rochoso		Cor: preto; Textura: intermediária; Forma: irregular.
Agricultura		Cor: marrom; Textura: lisa; Forma: regular.

Para avaliar a classificação, utilizamos análises estatísticas que relacionam as ocorrências de cada classe com pontos de referência, gerando uma matriz de contingência (matriz de erros). De posse da matriz de contingência, obtém-se o índice Kappa, que considera a proporção de amostras corretamente classificadas correspondentes à razão entre a soma da diagonal principal da matriz de erros (amostras corretamente classificadas) e a soma de todos os elementos dessa matriz (número total da amostra), tendo como referência o número total de classes (Equação 35).

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_i + n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_i + n_{+1}} \quad (35)$$

onde K = índice de concordância Kappa; r = número de linhas na matriz; x_{ii} = número de observações na linha[i] e coluna[i]; x_{i+} e x_{+i} = totais marginais da linha[i] e coluna[i], respectivamente; e N = número total de observações.

Santos et al., (2010) esclareceram que as classificações das imagens geradas em sensoriamento remoto são identificadas em determinados intervalos de valores, conforme níveis de aceitação para o índice Kappa. Este coeficiente é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação.

O resultado da estatística Kappa normalmente é comparado aos valores contidos na tabela 6, proposta por Landis & Koch (1977), a fim de indicar a qualidade do mapa temático. Embora essa tabela tenha sido desenvolvida para analisar resultados de diagnósticos clínicos, a mesma tem sido referência para classificar mapas resultantes da utilização de imagens de sensoriamento remoto (PRADO, 2009).

Tabela 6: Qualidade da classificação segundo a estatística Kappa

Valor do Kappa		Concordância
< 0,00		Péssimo
0,00	0,20	Ruim
0,21	0,40	Razoável
0,41	0,60	Bom
0,61	0,80	Muito Bom
0,81	1,0	Excelente

Fonte: Adaptada de Landis e Koch (1977).

Também baseada na matriz de confusão, foi calculada a Exatidão Global do mapa temático, um índice de qualidade de produtos temáticos largamente utilizados na cartografia. A Exatidão Global (EG) é estimada a partir da Equação 36.

$$EG = \frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{x} \quad (36)$$

em que, x_{ii} é número de observações na linha i e coluna i ; x é o número total de observações.

De posse das informações presentes na matriz de erros, pode-se calcular os erros de omissão (amostras de uma classe específica que foram classificadas como outras) e comissão (amostras de outras classes classificadas como de uma classe específica), os quais são usados para dar uma dimensão da exatidão da classificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Morfometria

Um dos desafios básicos da análise hidrológica é o delineamento e a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem associada. Tal informação é de utilidade em numerosas aplicações, tais como na modelagem dos fluxos hidráulicos, no transporte e deposição de poluentes e na predição de inundações (SANTOS, 2001).

Para a obtenção das características físicas da bacia hidrográfica do rio Cricaré, o SIG se mostrou uma ferramenta eficiente e permitiu encontrar uma área de drenagem igual a 4538,02 km², perímetro de 615,58 km e comprimento axial de 150,63 km. A partir destes dados, foram calculadas as características geométricas da Bacia, conforme tabela 7:

Tabela 7: Características geométricas

Características Geométricas	
Área de drenagem (km ²)	4538,02
Perímetro (km)	615,58
Comprimento axial (km)	150,63
Kc – Coeficiente de compacidade	2,56
Kf – Fator de forma	0,20
Re – Razão de alongação	0,50
IC – Índice de circularidade	0,15
ICO – Índice entre o comprimento e a área da bacia	2,91

De acordo com Villela e Mattos (1975) o coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo, onde quanto mais próxima da unidade for esta variável, mais propensa a bacia estará à ocorrência de enchentes. Este mesmo autor afirma que o fator de forma (Kf) é um parâmetro que relaciona a forma da bacia com um retângulo, onde este corresponde à razão entre a largura média da bacia e o seu comprimento axial (distância entre a foz e o ponto mais longínquo do espigão) e assinala que uma bacia com Kf baixo está menos sujeita à ocorrência de enchentes.

Silva e Mello (2008) classificaram as bacias hidrográficas em função dos valores de K_c da seguinte forma: $1,00 \leq K_c < 1,25$ – bacia com alta propensão a grandes enchentes; $1,25 \leq K_c < 1,50$ – bacia com tendência mediana a grandes enchentes; $K_c \geq 1,50$ – bacia não sujeita a grandes enchentes. Para estes mesmos autores os valores assumidos pelo fator de forma levam às seguintes classificações: $K_f \geq 0,75$ – bacia sujeita a enchentes; $0,50 < K_f < 0,50$ – bacia com tendência mediana a enchentes e $K_f \leq 0,50$ – bacia não sujeita a enchentes.

Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica em estudo mostra-se pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, evidenciado tanto pelo valor de K_c , que foi maior do que 1,5 quanto pelo K_f cujo valor foi menor que 0,5.

Neste contexto, outra variável geométrica que busca refletir o comportamento hidrológico da bacia a partir de sua forma, é o índice de circularidade (IC), que relaciona a forma da bacia com uma circunferência de perímetro igual à da bacia e, assim, torna a mesma mais alongada à medida que seu valor diminui.

Segundo Borsato (2005), quanto mais próximo de 1,0 for o valor de I_c , mais próxima da forma circular será a bacia. Já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento. Deste modo, o valor obtido para o IC (0,15) indica uma tendência alongada para a bacia e conseqüentemente baixa susceptibilidade a enchentes, sendo esta condição confirmada pelo ICO (2,91), onde quanto maior que 1 este índice for, mais alongada é a bacia (EPAGRI, 1997).

A utilização dos Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) permitiu identificar que a bacia do Cricaré é constituída por aproximadamente 6012 cursos d'água, com média de 1,04 km, totalizando 6268,67 km de hidrografia, sendo o Rio Cricaré o principal.

A densidade de drenagem (D_d) encontrada para a bacia em estudo foi de $1,38 \text{ km/km}^2$. Para Christofolletti (1974), de zero a $7,5 \text{ km/km}^2$ as bacias são mal drenadas; $7,5$ a 10 km/km^2 para média capacidade de drenagem e valores acima de 10 km/km^2 , o autor considera de alta capacidade de drenagem.

Classificação semelhante foi realizada por Silva e Mello (2008), onde valores de Dd menores que 5 indicam que a bacia apresenta baixa relação entre o comprimento de rios e a sua área de drenagem, indicando um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático.

Na Tabela 8 estão as características morfométricas associadas a hidrografia para a bacia analisada.

Tabela 8: Características da Hidrografia

Características da Hidrografia	
Comprimento do rio principal (km)	258,90
Comprimento total da hidrografia (km)	6268,67
Dd – Densidade de drenagem (km/km ²)	1,38
Dh – Densidade hidrográfica (curso/km ²)	1,32
Ct – Coeficiente de torrencialidade	1,82
Dc – Densidade de confluência	1,22
SIN - Sinuosidade do curso d'água	1,79
Is - Índice de sinuosidade (%)	44,39
Coeficiente de manutenção (m ² /m)	793,65
Ordem dos cursos d'água (Strahler)	6

Para Guariz (2008) a Dd é um indicativo da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, dando uma idéia a respeito do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia.

Deste modo, o valor obtido para a Dd indica que esta bacia hidrográfica apresenta baixa relação entre o comprimento de rios e a área da bacia, indicando um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático, ou seja uma menor propensão a inundações, fato este observado pelo valor baixo do coeficiente de torrencialidade (Ct), que foi de 1,82.

A densidade hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica. Em outras palavras, expressa a magnitude da rede hidrográfica indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em

função das características pedológicas, geológicas e climáticas (FREITAS, 1952). O valor obtido foi de 1,32 canais/km², indicando um ambiente favorável para a geração de novos cursos fluviais como apresentado por Castro e Carvalho (2009).

A densidade de confluência (Dc) relaciona o número de confluências ou bifurcações da rede de drenagem com a área da bacia, sendo considerada uma forma mais simples de representar a densidade de drenagem. O valor obtido foi de 1,22 e significa que em cada km² a probabilidade de encontrar no mínimo uma união de dois cursos d'água é muito alta.

O curso d'água principal pode ser considerado sinuoso, visto que a sinuosidade (SIN) obtida foi de 1,79. De acordo com Alves e Castro (2003), valores de sinuosidade bem próximos a 1, indicam que o canal tende a ser retilíneo e valores maiores que 2 indicam canais tortuosos. Valores entre 1 e 2 apontam para formas transicionais, regulares e irregulares.

O índice de sinuosidade (IS) encontrado na bacia hidrográfica em estudo foi de 44,39%. Crhistofoletti (1980) citado por EPAGRI (1997) estabeleceu cinco classes de sinuosidade, sendo elas: $Is < 20\%$ - canal muito reto; $20\% \leq Is \leq 30\%$ - canal reto; $30\% \leq Is \leq 40\%$ - canal divagante; $40\% \leq Is \leq 50\%$ - canal sinuoso; $Is \geq 50\%$ - canal muito sinuoso.

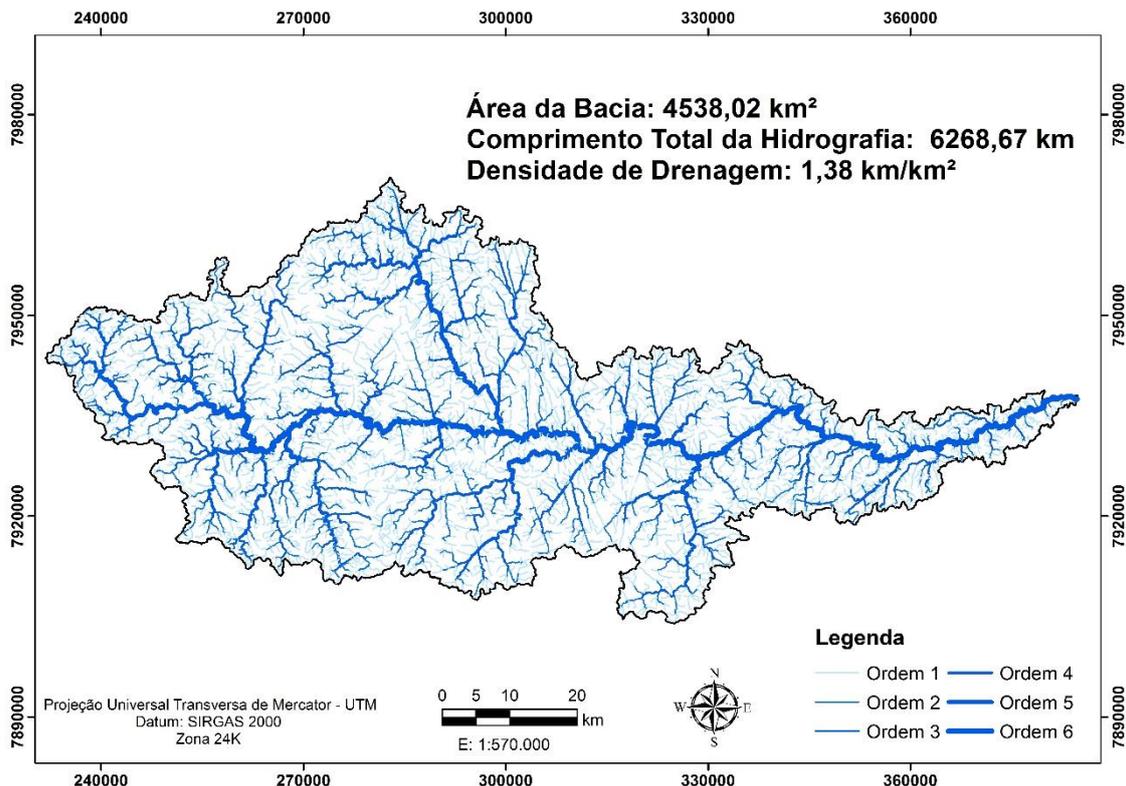


Figura 8: Hidrografia

Dentro das classificações feitas, a hidrografia foi considerada como nível 6 sob Strahler e Shreve foi obtida a ordem de 3021. Assim, temos uma contribuição de 3021 nascentes dentro do território em estudo. A Figura 8 apresenta o mapa da hidrografia (classificação de STRAHLER, 1974) da bacia hidrográfica em estudo. Observa-se que o rio principal (ordem 6) aparece em destaque, sendo que seu movimento se dá da direção Oeste para Leste da bacia. O comprimento total e porcentagem de ocorrência de cada uma das ordens dos cursos d'água pode ser observada na tabela 9.

Tabela 9: Ordens dos cursos d'água classificados segundo Strahler

Ordem	Comprimento (Km)	Porcentagem (%)
1	3013,093	48,06
2	1576,619	25,17
3	754,420	12,03
4	460,915	7,35
5	187,531	2,99
6	276,101	4,40

A Tabela 10 mostra os valores obtidos para cada ordem do curso d'água segundo a classificação de Strahler, a relação do número de canais e índices de bifurcação e comprimento da Bacia.

Tabela 10: Análise linear da rede hidrográfica

Ordem	Qtdd	Compr Médio	RPb	Rb	RIm	Rib
1	2688	2,24	-	-	-	-
2	1492	1,05	7524,00	1,80	2,13	1,18
3	706	1,06	4637,78	2,11	0,99	0,46
4	401	1,15	1948,32	1,76	0,92	0,52
5	142	1,32	1531,26	2,82	0,87	0,30
6	233	1,18	22875	0,61	1,11	1,82
Total	5662		38516,36			

Quantidade de canais (Qtdd), comprimento médio dos canais (Compr. Médio), relação ponderada de bifurcação (RPB), relação de bifurcação (Rb), relação entre o comprimento médio dos canais (RIm), relação entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (Rib).

Estes valores indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica. Quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indica relevo colinoso (Castro e Carvalho, 2009).

Dissecação é o processo pelo qual as erosões fluvial, pluvial e glacial rebaixam os vales, aprofundando-os em relação aos divisores de água. Quanto mais dissecada é uma região, maior é a área ocupada pelas vertentes. O grau de dissecação mede a exposição de uma superfície a eventos erosivos, onde em regiões com muitos vales profundos, isto é, com vertentes longas e grandes declividades, este grau é maior, enquanto superfícies pouco dissecadas são em geral aplainadas ou levemente onduladas, como é o caso das planícies e planaltos.

A relação de bifurcação indica que o relevo da maioria dos rios de primeira a quinta ordem estão em regiões com alto nível de dissecação,

enquanto o segmento do rio de ordem 6 está em uma região mais colinosa. Sendo o que mais representa a bacia é o Rpb cujo valor foi de 7524, apresentando alto nível de dissecamento da bacia, ou seja, formas de relevo entalhadas pelos agentes erosivos principalmente ao longo da rede hidrográfica onde houve um rebaixamento das saliências.

Ao observar a relação entre os comprimentos médios de canais (Rlm) de cada ordem, consegue-se caracterizar um equilíbrio entre os comprimentos médios dos canais de 3ª a 5ª ordem, pois em relação aos outros valores encontrados para as demais ordens, a variação foi pequena.

Barbosa e Furrier (2009) citam Christofletti (1980), onde este indica que se ocorrer o aumento do Rib em conjunto com a ordem hierárquica, mostra a importância do fator geológico no desenvolvimento da drenagem de maior ordem. Este fato não foi observado na bacia hidrográfica em questão, mostrando pouca influência do fator geológico na constituição hierárquica da hidrografia local, porém não o torna menos importante nem tampouco influente.

Tabela 11: Características do Relevo

Características do Relevo	
Declividade média da bacia (%)	16,26
Elevação média (m)	348,73
L - Lado maior do retângulo equivalente (km)	292,43
lr - Lado menor do retângulo equivalente (km)	15,64
KI - Índice de alongamento	18,70
HD - Índice de rugosidade	1,93
CR - Coeficiente de rugosidade	22,4
Rr - Razão de Relevo (m/m)	0,0093
Rrl - Razão de Relevo relativo	0,0023
Ft – Fator Topográfico	0,0018
Tt - Textura topográfica	2,37
T - Razão de Textura	9,19
Tga - Coeficiente de massividade (m/m)	0,25
Co - Coeficiente orográfico	86,49

I – Extensão média do escoamento superficial (km) 0,18

A declividade influencia na relação entre precipitação e deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que reduz a possibilidade de infiltração da água no solo.

De acordo com Vilella e Matos (1975) o relevo tem grande influência sobre os fatores hidrológicos, entre eles o tempo que demora a água precipitada em atingir a rede de drenagem, a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, a susceptibilidade do solo à erosão.

Elesbon et al. (2011) realizou a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do São Mateus, a partir dos dados remotos da missão SRTM, tendo encontrado uma declividade média de 21,24%.

A tabela 12 apresenta a quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade para a bacia hidrográfica do Cricaré, sendo encontrada a declividade média de 16,26%. Segundo a Classificação da EMBRAPA (1999) este resultado enquadra a bacia dentro de Relevo Ondulado.

Tabela 12: Quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade

Declividade (%)	Área (km²)	% relativa ao total da bacia
0-3 (plano)	287,26	6,33
3-8 (suavemente ondulado)	989,26	21,80
8-20 (ondulado)	1918,68	42,28
20-45 (fortemente ondulado)	1165,37	25,68
45-75 (montanhoso)	165,51	3,64
> 75 (fortemente montanhoso)	12,12	0,27

Os resultados demonstraram que a bacia possui relevo mais acidentado no Estado de Minas Gerais e divisa com o Espírito Santo (Maciço Montanhoso de Mantena), onde predominam os relevos ondulado e fortemente ondulado. Já no baixo curso predominam os relevos suave-ondulado e plano (Figura 9), que

permitem a utilização de moto mecanização em muitos trechos, fato este decisivo para tornar a região alvo de um acelerado e indiscriminado processo de desmatamento ocorrido nos últimos 50 anos.

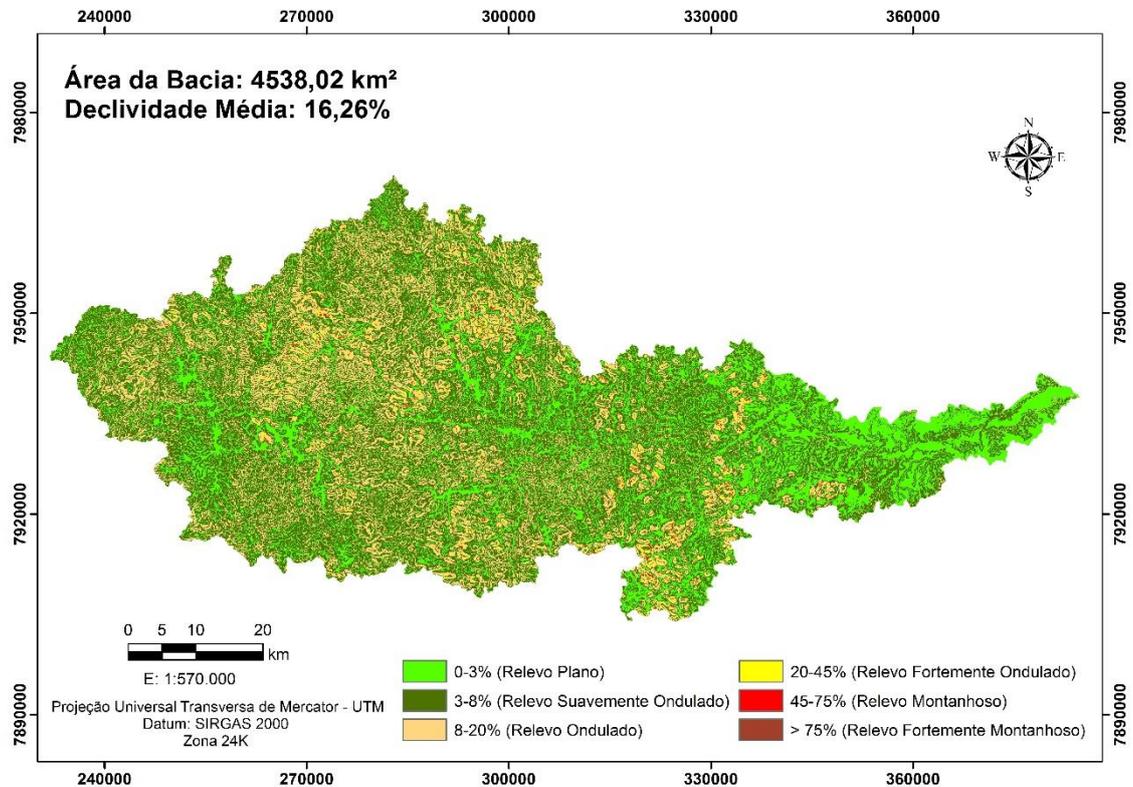


Figura 9: Mapa de declividade

Nas colinas, nos patamares de topos aplainados, e nos tabuleiros, predomina a erosão laminar dos vales, lagoas marginais e depressões fluviais. Para o Cricaré e seus afluentes esse quadro é sinônimo de assoreamento que provoca enchentes e impede a navegação.

A distribuição das declividades dos terrenos foram determinadas por meio de uma distribuição estatística de classes de declividades (10 classes variando de 10 em 10%) normais às curvas de nível em vários pontos da bacia e do número de ocorrência de cada classe de declividade. Com os resultados dos valores da amostragem estatística, foi possível gerar a curva de distribuição de declividade, a qual é mostrada na Tabela 13 e Figura 10. De acordo com os resultados estatísticos, observa-se que a declividade média da bacia foi de 0,1626 m/m.

Tabela 13: Distribuição de declividade na bacia

1 Declividade (m/m)	2 Fi	3 fi (%)	4 fi _{acum} (%)	5 Declividade média	6 Coluna 2 X 5
0,0000 - 0,0990	4517	37,70	100	0,0495	223,5915
0,1000 - 0,1900	3919	32,71	62,30	0,1450	568,2550
0,2000 - 0,2900	1885	15,73	29,59	0,2450	461,8250
0,3000 - 0,3900	942	7,86	13,86	0,3450	324,9900
0,4000 - 0,4900	405	3,38	6,00	0,4450	180,2250
0,5000 - 0,5900	194	1,62	2,62	0,5450	105,7300
0,6000 - 0,6900	72	0,60	1,00	0,6450	46,4400
0,7000 - 0,7900	32	0,27	0,40	0,7450	23,8400
0,8000 - 0,8900	13	0,11	0,13	0,8450	10,985
0,9000 - 0,9900	3	0,02	0,02	0,9450	2,8350
Σ	11982	100,00			1948,7165
Declividade média = 1948,7165/11982 = 0,1626 m/m					

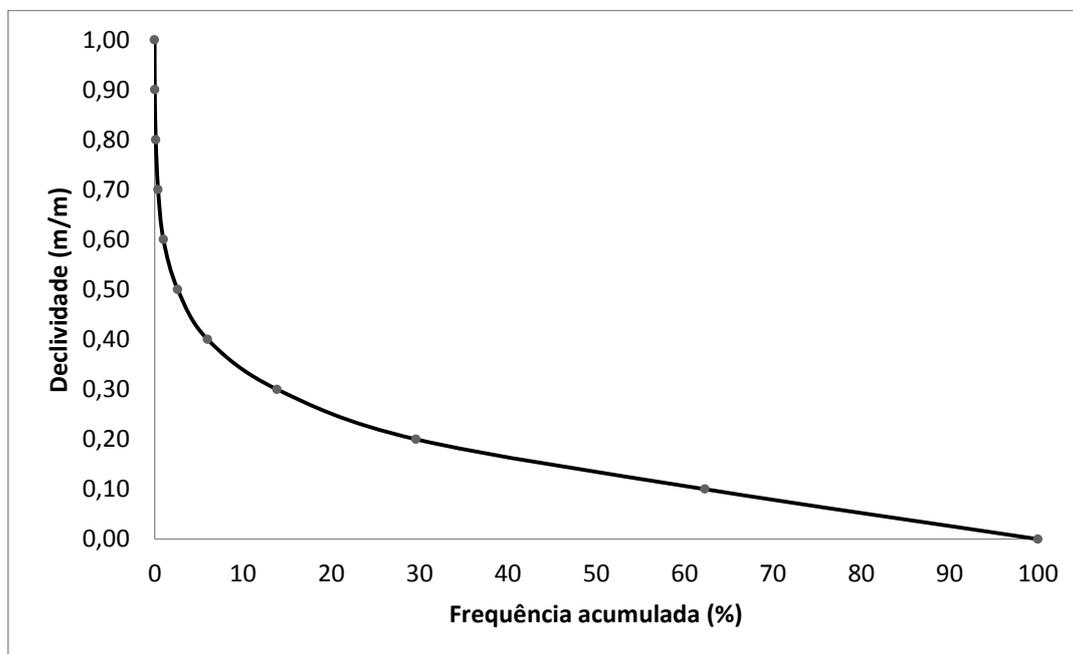


Figura 10: Curva de distribuição de declividade da bacia hidrográfica

No mapa hipsométrico pode ser observado que as menores altitudes se localizam a leste, fazendo com que o rio Cricaré se movimente e desague nessa direção, já as maiores elevações localizam-se a oeste, na divisa com o estado de Minas Gerais (Figura 11).

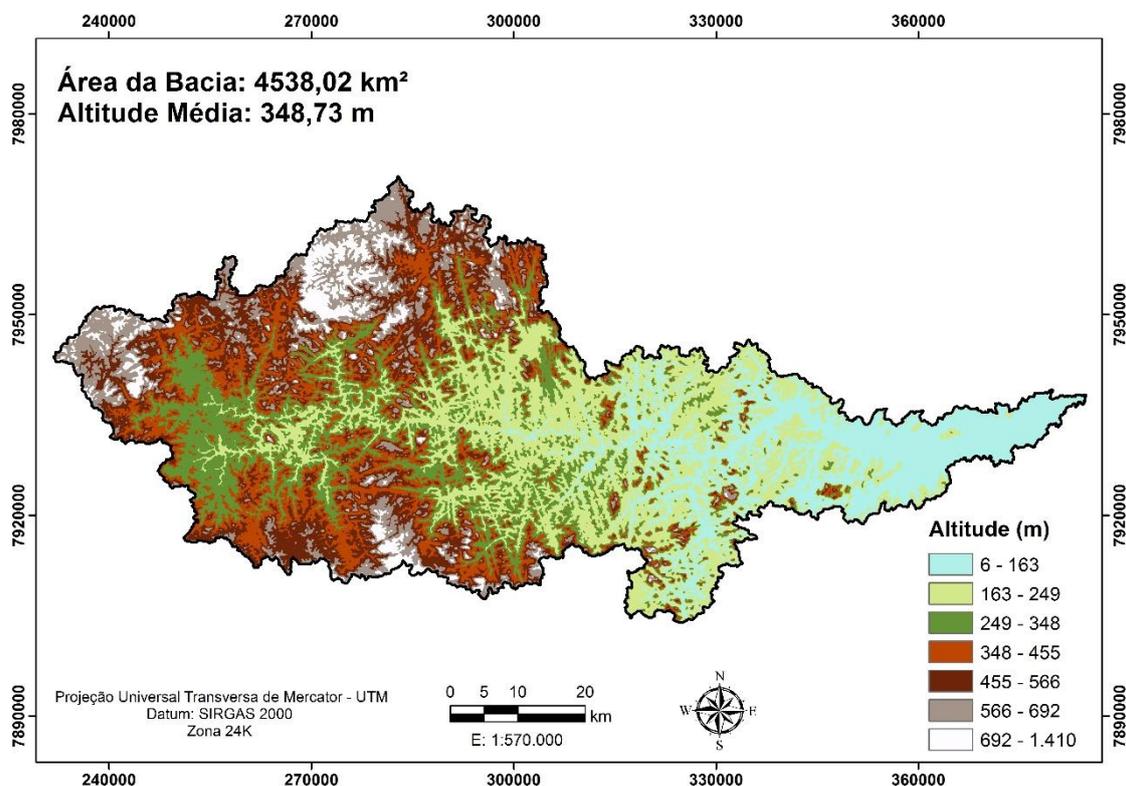


Figura 11: Mapa hipsométrico

Os resultados estatísticos necessários para a geração da curva hipsométrica da Bacia são apresentados na Tabela 14, enquanto que a curva hipsométrica é mostrada na Figura 12. Baseado nesta curva, pode-se observar a porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações.

Segundo Gaspari et al., (2013) é possível determinar a evolução de uma bacia por meio da forma da curva hipsométrica. Analisando o gráfico da curva hipsométrica da bacia em estudo (Figura 12), a mesma poderia apresentar um estado de maturidade intermediário, na qual os processos esculturais do relevo ainda influenciam a sua superfície. Desta forma a geomorfologia se caracteriza

por apresentar uma paisagem na qual os córregos não têm atingido seu nível de equilíbrio demonstrando-se uma contínua fase de erosão.

Tabela 14: Curva hipsométrica da bacia hidrográfica

1	2	3	4	5	6	7
Cotas (m)	Ponto médio (m)	Área (km ²)	Área acum. (km ²)	%	% acum.	Coluna 2 X Coluna 3
1410 - 1300	1355	0,14	0,14	0,0031	0,0031	189,70
1299 - 1200	1250	0,56	0,70	0,0123	0,0154	700,00
1199 - 1100	1150	1,28	1,98	0,0282	0,0436	1472,00
1099 - 1000	1050	2,50	4,48	0,0550	0,0986	2625,00
999 - 900	950	4,58	9,06	0,1009	0,1995	4351,00
899 - 800	850	26,54	35,60	0,5848	0,7843	22559,00
799 - 700	750	135,09	170,69	2,9768	3,7611	101317,50
699 - 600	650	359,53	530,22	7,9226	11,6837	233694,50
599 - 500	550	523,81	1054,03	11,5426	23,2263	288095,50
499 - 400	450	601,92	1.655,95	13,2639	36,4902	270864,00
399 - 300	350	678,58	2334,53	14,9532	51,4434	237503,00
299 - 200	250	1033,49	3368,02	22,7740	74,2174	258372,50
199 - 100	150	1018,76	4386,78	22,4494	96,6668	152814,00
99 - 6	53	151,24	4538,02	3,3327	100,0000	8015,72
Σ		4538,02				1582573.4
Altitude média = 1582573,4/4538,02 = 348,73 m						

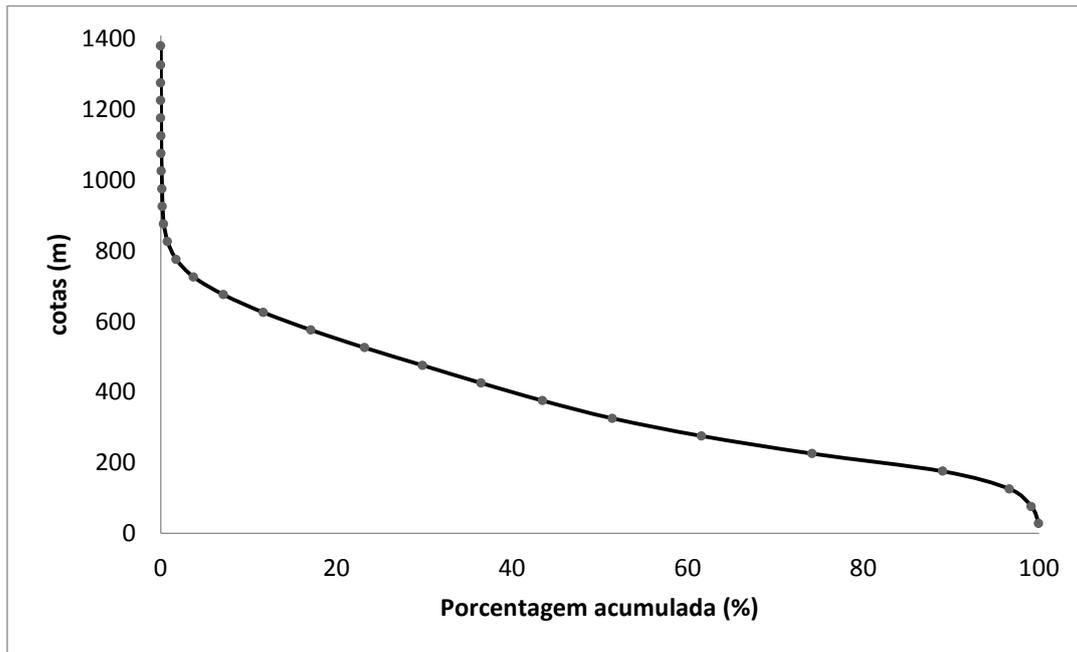


Figura 12: Curva Hipsométrica da bacia hidrográfica

O retângulo equivalente foi introduzido por hidrólogos franceses com o intuito de melhor comparar a influência das características da bacia sobre o escoamento, possibilitando uma melhor noção da distribuição de altitudes ao longo da área da bacia.

Por meio dos valores encontrados para os lados do retângulo equivalente percebe-se a discrepância entre os valores, indicando alto nível de alongamento, fato este expresso no índice de alongamento (KI), onde valores superiores a 2 indicam alongamento da bacia (GUARIZ, 2008).

A partir da representação do retângulo equivalente consegue-se ter uma visualização da participação das altitudes dentro da bacia, permitindo inferências semelhantes às da curva hipsométrica.

Para determinar a distância entre as curvas de nível no retângulo equivalente usaram-se os cálculos apresentados na Tabela 15, com os quais se construiu o retângulo apresentado na Figura 13.

Tabela 15: Retângulo Equivalente

1	2	3
Cotas (m)	Fração de Área Acumulada (%)	Comprimentos Acumulados (km)

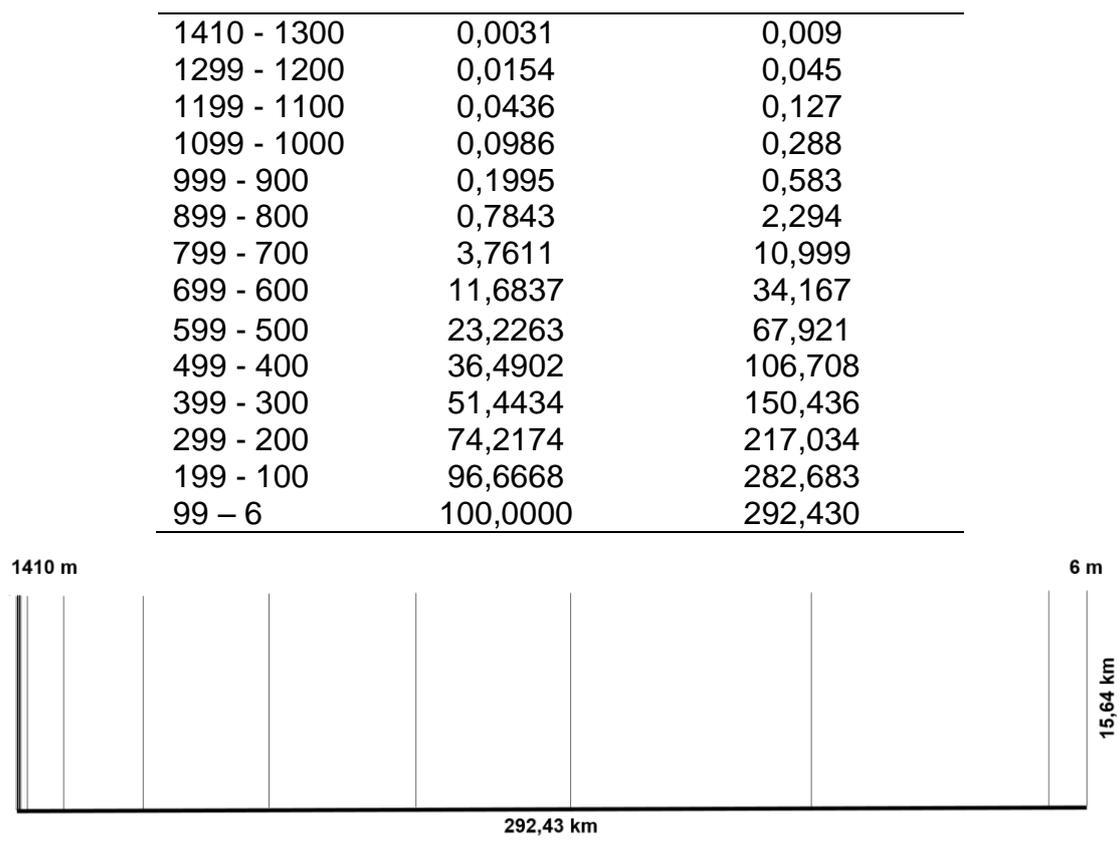


Figura 13: Retângulo Equivalente

O coeficiente de rugosidade (CR) se constitui no produto entre a densidade de drenagem e a declividade média da bacia e, dessa forma, tem a capacidade de estimar o risco de degradação ambiental em bacias hidrográficas (BARACUHY et al, 2003).

Pissarra et al. (2004) definiram quatro classes para análise do CR: classe A (solos apropriados para agricultura) $CR < 23$; classe B (solos apropriados para pastagens/pecuária) CR entre 23 e 43; classe C (solos apropriados para pastagem/reflorestamento) CR entre 44 e 63; e D (solos apropriados para reflorestamento) > 63 . Sendo assim, quanto maior CR maior será o risco de degradação da bacia.

Neste sentido, podemos inferir que a bacia hidrográfica em estudo apresenta menor risco de degradação e potencial do solo para a agricultura, pois o CR foi menor que 23, porém o CR é um índice não exclusivista, possibilitando outros usos dentro da bacia em questão.

Quanto maior a razão de relevo (Rr), maior será a quantidade de água a escoar superficialmente e, conseqüentemente, maior será a velocidade da água no sentido do maior comprimento da bacia. Segundo Rossi e Pfeifer (1999) a razão de relevo pode ter a seguinte classificação: Rr entre 0,0 e 0,10 (baixa); Rr entre 0,11 e 0,30 (média); e Rr entre 0,31 e 0,60 (alta).

A razão de relevo (Rr) permite comparar a altimetria das regiões e quanto maiores seus valores, mais acidentado é o relevo predominante na região, e ainda reflete a relação infiltração/deflúvio, demonstrando uma identificação com a densidade de drenagem. Desta maneira, pode se inferir que o relevo predominantemente baixo da bacia minimiza o escoamento superficial e a velocidade da água no canal principal, pois o valor encontrado para Rr foi de 0,0093. Além disso, o baixo valor encontrado para razão de relevo relativo (0,0023) indica baixa movimentação topográfica.

O fator topográfico (Ft) procura analisar a capacidade de escoamento de uma bacia por meio da densidade hidrográfica, índice de circularidade e a razão de relevo relativo. Conforme destaca Teixeira e Cruz (2005), o valor do Ft representa as relações entre os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, usando parâmetros hipsométricos e hidrológicos, com a finalidade de verificar a capacidade de escoamento superficial de uma bacia.

O Ft encontrado a bacia em estudo foi praticamente zero, logo, a bacia apresenta praticamente nenhuma capacidade de enchente e boa capacidade de escoamento. Este valor foi favorecido devido aos baixos valores do índice de circularidade e de razão de relevo.

Segundo França (1968) a textura topográfica (Tt) pode ser grosseira, quando apresentar valores inferiores a 4, média quando compreendida entre 4 e 10 ou fina, quando superior a 10. Desta forma, a Bacia possui grau de entalhamento e dissecação do relevo classificado como grosseira, visto que o valor encontrado para a Tt (2,37) foi inferior a 4.

Este mesmo autor classifica a razão de textura (T) da seguinte forma: valores menores que 2,5 é classificada como grosseira, entre 2,5 e 6,2 média e acima de 6,2 como fina. O valor encontrado para T (9,19) sugere que o

escoamento superficial é pouco intenso e, conseqüentemente, pouco associado a dissecação hídrica do terreno.

Coeficientes de massividade (Tga) abaixo de 0,5 correspondem a bacias com distribuição maior de terras baixas e coeficientes acima desse valor correspondem a bacias com maior distribuição de terras altas (BORSATO, 2005). O Tga encontrado para a área em estudo foi de 0,25 m/m, indicando que a bacia possui maiores porcentagens de terras baixas.

A distância média que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento ocorresse em linha reta, desde o ponto onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer (l) foi de 180 m. Embora a extensão do escoamento superficial que efetivamente ocorre sobre os terrenos possa ser bastante diferente dos valores determinados por este índice, ele constitui uma indicação da distância média do escoamento superficial (GUARIZ, 2008).

4.2 Determinação das APPs de nascentes, cursos d'água, declividade e topo de morro

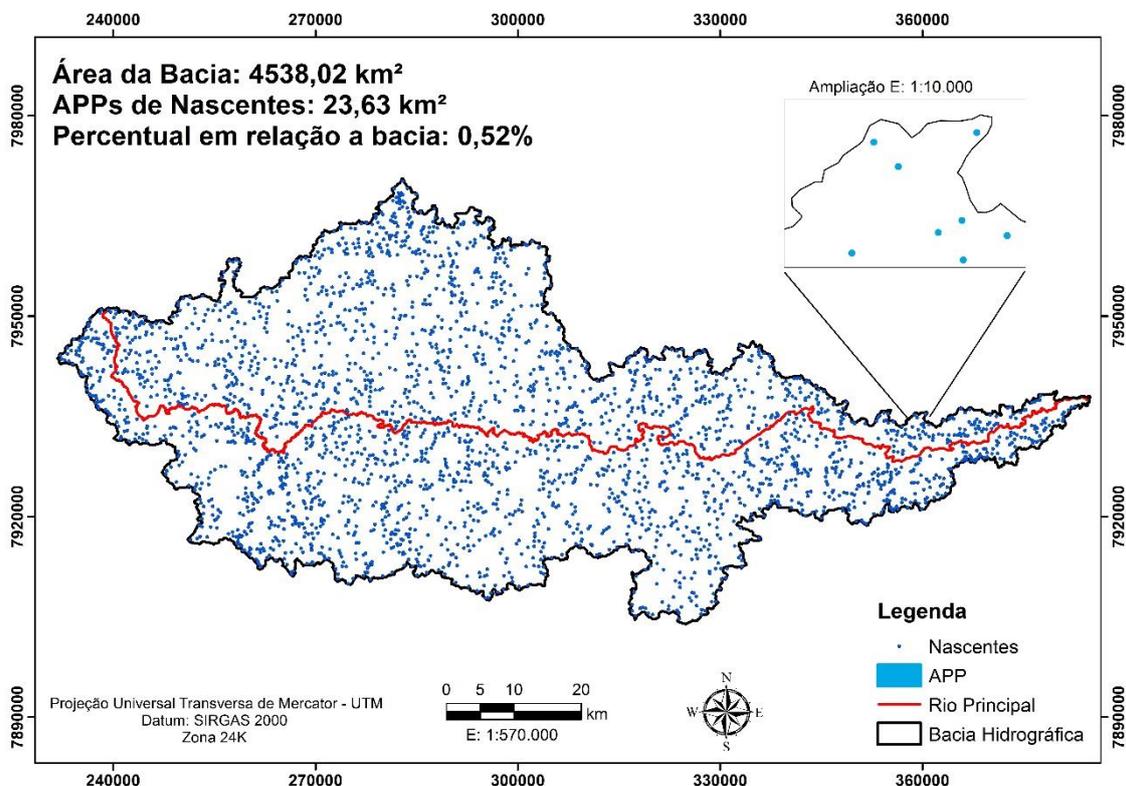


Figura 14: APPs de Nascentes da bacia hidrográfica do rio Cricaré

As nascentes são responsáveis pela manutenção da vazão da bacia hidrográfica, já que dão origem aos cursos d'água que a constituem. Por isso, o Novo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/12), em seu artigo 3º (BRASIL, 2012) considera como Áreas de Preservação Permanente (APP) o raio de 50m ao redor das nascentes, proibindo a sua utilização para qualquer finalidade.

A dependência significativa de água em quase todos os processos e atividades humanas associadas à popularização das ferramentas de geotecnologia impulsionaram os trabalhos sobre o mapeamento e classificação das nascentes. Prova disso são os trabalhos realizados por Mendes e Rosendo (2013), nos quais utilizaram imagens RapidEye na investigação de intervenções antrópicas nas nascentes da bacia do Ribeirão São Lourenço/MG.

Foram identificadas 3021 nascentes na área em estudo, perfazendo um total de 23,63 km² de APPs, o que representa 0,52% da área total da bacia. As delimitações dessas áreas são mostradas na Figura 14.

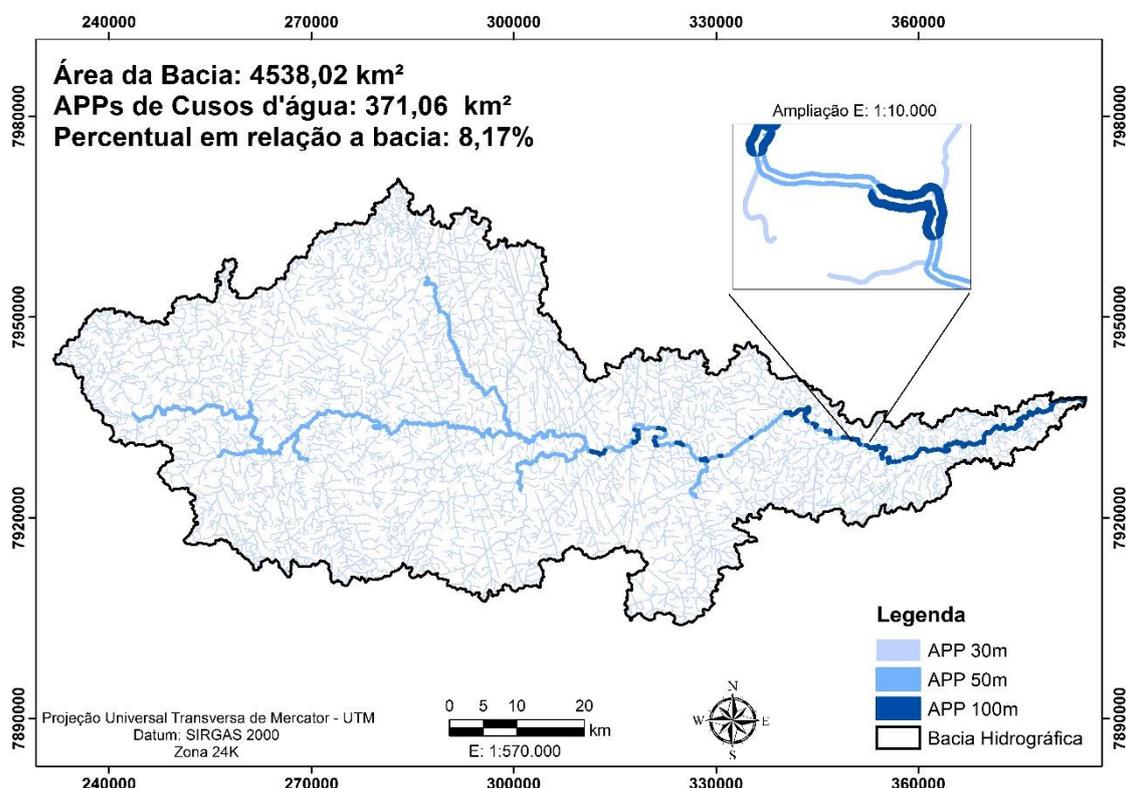


Figura 15: APPs de Cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Cricaré

As APPs de cursos d'água garantem a estabilização das margens, tendo assim uma importância vital no controle da erosão do solo e da qualidade

da água, evitando o carreamento direto para o ambiente aquático de sedimentos, nutrientes e produtos químicos provenientes das partes mais altas do terreno (Eugenio et al., 2011), os quais afetam a qualidade da água, diminuem a vida útil dos reservatórios, das instalações hidroelétricas e dos sistemas de irrigação.

A área ocupada pelas APPs de cursos d'água representa 8,17% de toda a Bacia, totalizando 371,06 km². Suas delimitações são mostradas na Figura 15.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gasparini et al. (2013) no município de Seropédica-RJ, por Eugenio et al. (2013) no município de Alegre-ES e por Luppi et al. (2015) no município de João Neiva-ES, os quais obtiveram respectivamente 7,38%, 12,30% e 8,63% de APPs de cursos d'água, mostrando que a metodologia adotada é capaz de produzir de forma eficaz e rápida informações precisas sobre as dimensões e distribuição espacial destas APPs nas áreas de estudo.

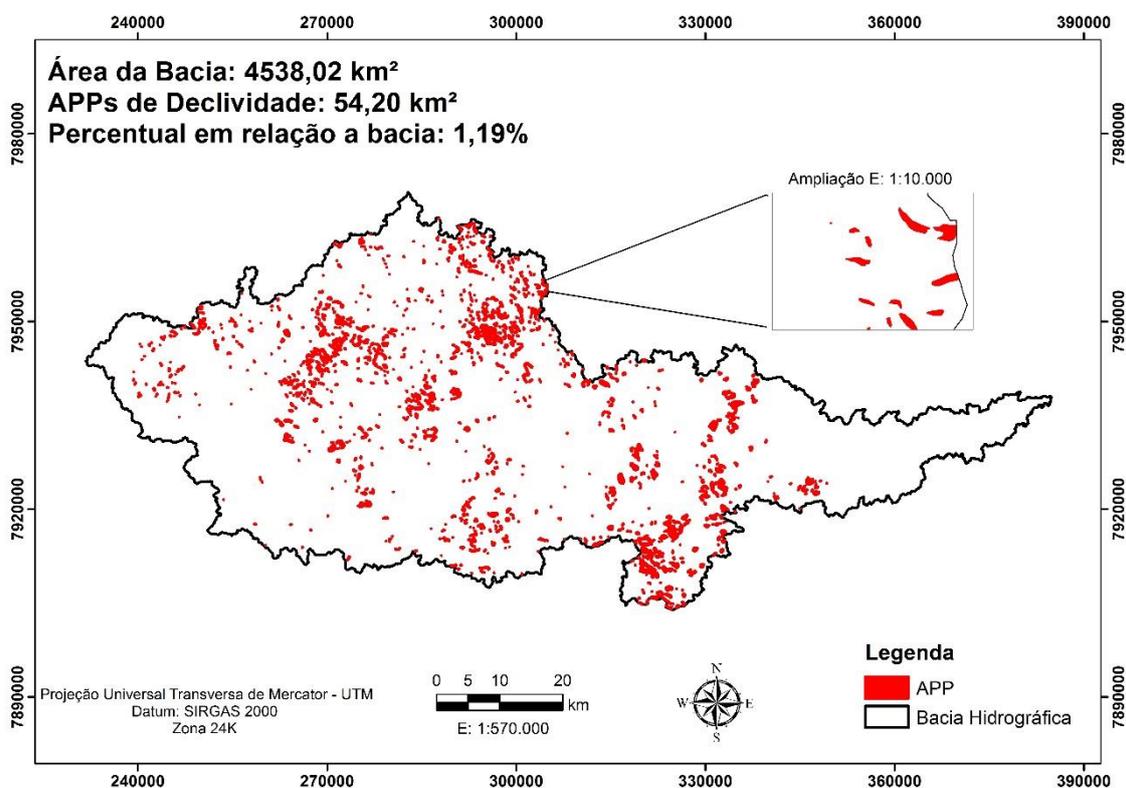


Figura 16: APPs de Declividade da bacia hidrográfica do rio Cricaré

A bacia possui relevo bastante acidentado no estado de Minas Gerais, perto da cidade de Mantena, onde predominam atividades de mineração e garimpo. Mas, ao longo do percurso do rio outras situações geomorfológicas vão surgindo, como o planalto dissecado do divisor de águas do São Mateus-Doce, entre São José do Divino e Pescador. A passagem da região do Maciço Montanhoso para o Planalto Deprimido e destes para os patamares e colinas costeiras se dá de forma gradativa, em escadas, que são controladas por falhas e fraturas dos embasamentos.

Nas encostas dos planaltos dissecados e de elevações pertencentes ao Maciço Montanhoso de Mantena ocorrem, com frequência, muitos desmoronamentos de terra, principalmente no maciço, pela presença de solos friáveis susceptíveis à erosão. Nas colinas, nos patamares de topos aplainados, e nos tabuleiros, predomina a erosão laminar, responsável pela colmatagem dos vales, lagoas marginais e depressões fluviais. No baixo curso, o relevo suave-ondulado e plano permite a utilização de moto mecanização.

A área ocupada pelas APPs de declividade representa 1,19% de toda a Bacia, totalizando 54,20 km². Suas delimitações são mostradas na Figura 16.

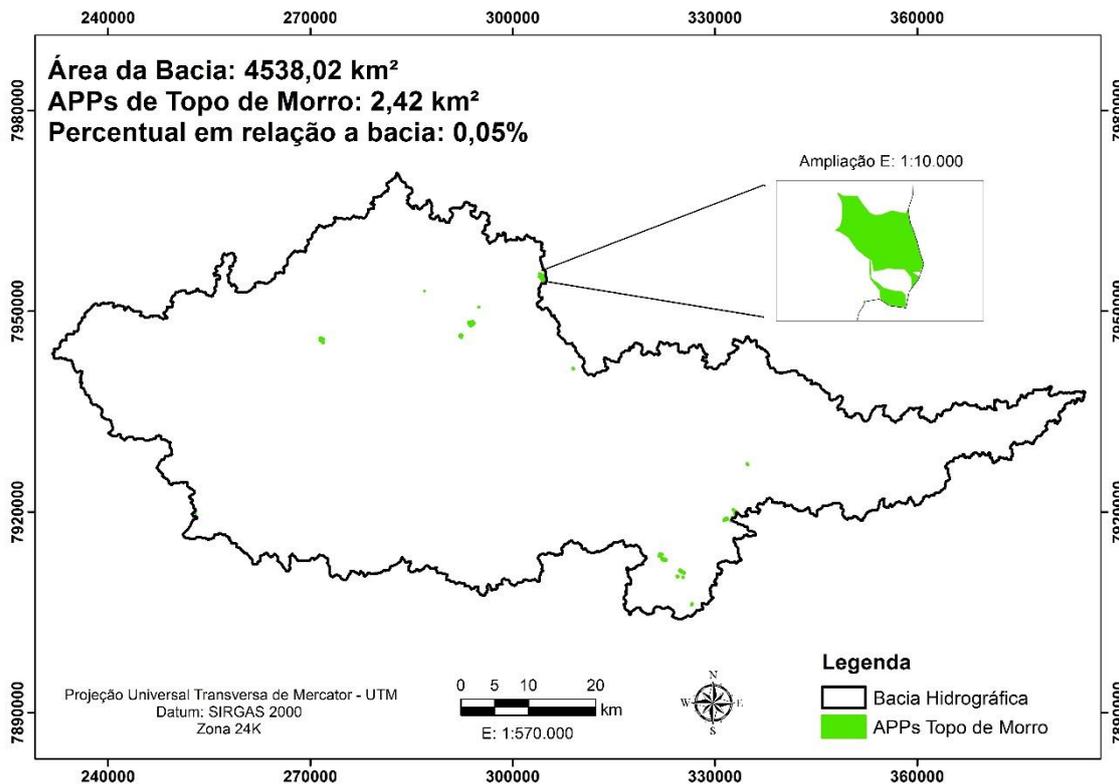


Figura 17: APPs de Topo de Morro da bacia hidrográfica do rio Cricaré

Em função da alteração nos parâmetros que definem estas APPs, dificilmente serão encontradas elevações que contenham altitude superior a 100m em relação à base (considerando o ponto de sela mais próximo) e ao mesmo tempo declividade média superior a 25°. Prova disto são os trabalhos realizados por Oliveira e Fernandes Filho (2013) na região dos mares de morros da Zona da Mata mineira, onde não detectaram nenhuma APP em topo de morro.

Importante ressaltar que na legislação revogada, bastava que a o morro apresentasse declividade superior a 17° na linha de maior declividade e altura mínima de 50 metros para que seu topo fosse considerado como APP. Assim, os topos de morros ficam agora restritos às áreas montanhosas.

Em estudos semelhantes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã-RS Cunha et al. (2015) identificaram 244,7 km² de APPs de topo de morro para o antigo código florestal. Para o código atual foram apenas 0,27 km². No total foram mapeadas 35 APPs de topos de morro, totalizando 2,42 km², o que representa 0,05% da área total da Bacia. Suas delimitações são mostradas na Figura 17.

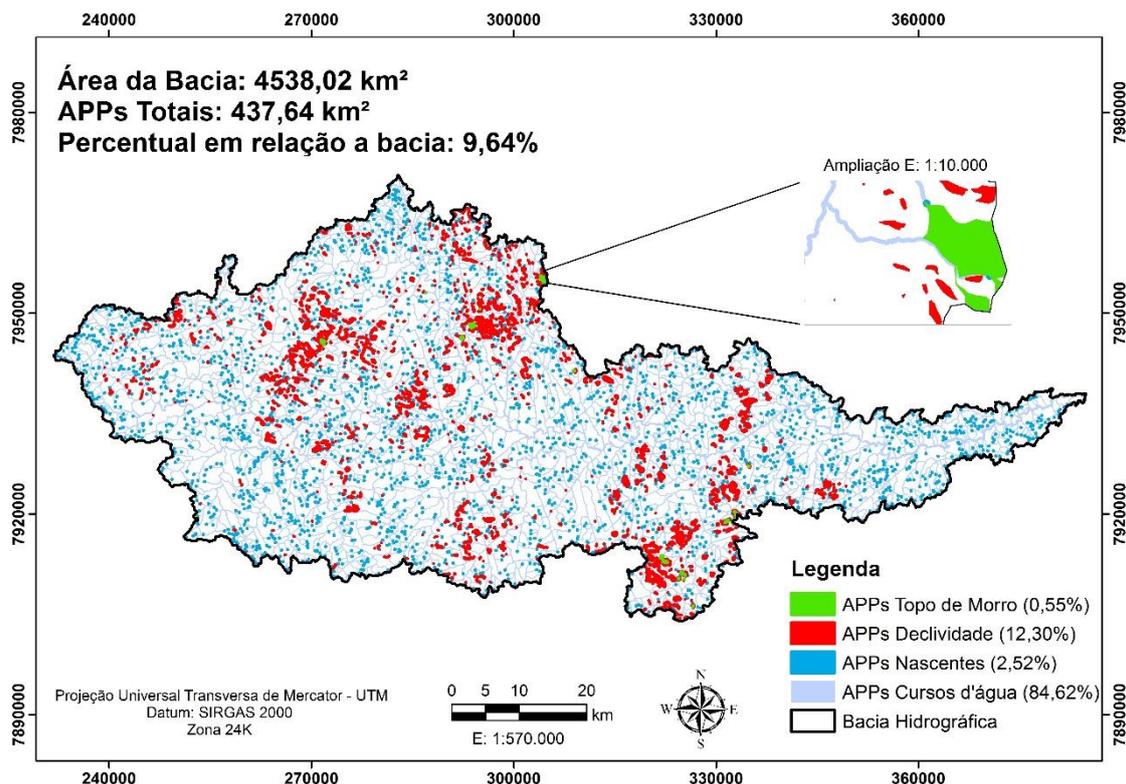


Figura 18: Mapa das APPs da bacia hidrográfica do rio Cricaré

A metodologia de delimitação automática das APPs tendo como referência legal a Lei nº 12.651 (Novo Código Florestal) de 25 de maio de 2012 possibilitou identificar e quantificar as APPs nas nascentes (APP-1), ao longo das margens dos cursos d'água (APP-2), nas encostas com declividade superior a 45 graus (APP-3) e nos topos de morros (APP-4). Os resultados mostram que a menor e a maior participação entre as APPs correspondeu às APP-4 e APP-2 com 2,42 km² (0,05%) e 370,35 km² (8,16%), respectivamente (Figura 18 e Tabela 16).

Tabela 16: Áreas ocupadas pelas APPs na bacia Hidrográfica do rio Cricaré

APPs	Característica	Área (km ²)	Área sem sobreposição (km ²)	Área na Bacia (%)
APP-1	Nascente	23,63	11,02	0,24
APP-2	Cursos d'água	371,06	370,35	8,16
APP-3	Declividade	54,20	53,85	1,19
APP-4	Topo de morro	2,42	2,42	0,05
Total		451,31	437,64	9,64

Nota-se ainda que as APPs ocupam uma área total de 437,64 km², de um total de 4538,02 km² da área da bacia, representando 9,64% de áreas legalmente protegidas.

Cabe destacar que as APPs de diferentes categorias se sobrepõe de forma natural, mas com a ajuda do SIG, estas não são adicionadas no cômputo total da APPs.

4.3 Confronto do uso e cobertura do solo em APPs da extensão capixaba da bacia

4.3.1 Nas nascentes

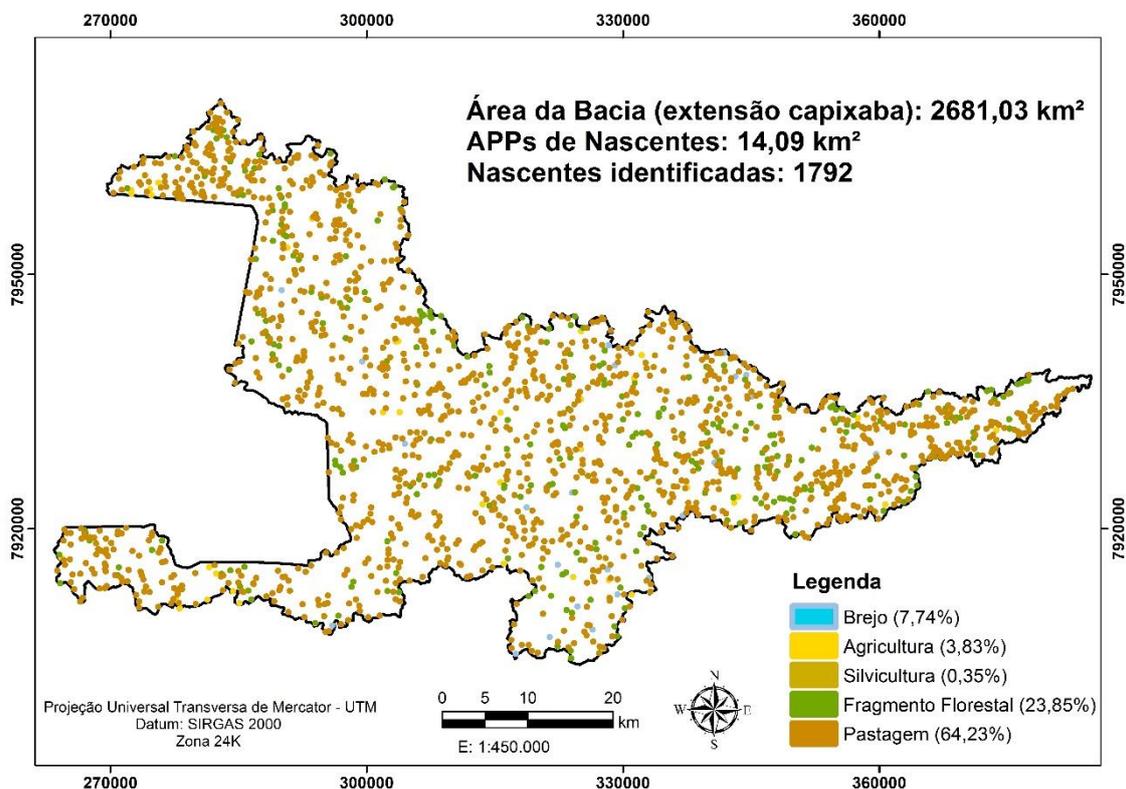


Figura 19: Classes de Uso da Terra nas Nascentes da Extensão Capixaba da Bacia Hidrográfica

Das 3021 nascentes identificadas na bacia do rio Cricaré, estão localizadas na extensão capixaba 1792 (59,3%). Para esta extensão da bacia foi realizada a classificação visual e digitalização em tela das classes de uso do

solo, permitindo identificar as áreas em desacordo com a legislação vigente e o seu estado de preservação.

Do total da área destinada às APPs de nascentes na extensão capixaba 7,74% encontra-se ocupada com área brejosa, 3,83% com agricultura, 0,35% com silvicultura, 23,84% com floresta e 64,23% com pastagens (Figura 19 e Tabela 17).

Estes dados demonstram alta intervenção antrópica, podendo levar a extinção dos cursos d'água, conforme observado por Kreitlow et al. (2009) no estudo da rede hidrográfica da bacia rio Paraguai/Jauquara, o qual perdeu 41 canais, provavelmente devido influências de atividades antrópicas.

A identificação das nascentes da bacia do Cricaré e a posterior classificação em diferentes graus de preservação/degradação permitirá o planejamento ambiental e a definição de medidas para sua recuperação, que podem ser iniciadas com o reflorestamento de plantas nativas, o cercamento da área em torno da nascente (para evitar pisoteio do gado quando localizado em pastagens), a eliminação de plantio na APP, a diminuição de atividades no solo (possibilitando a regeneração natural das áreas), dentre outras.

No caso das nascentes, especificamente, sua importância para a manutenção dos recursos hídricos requer monitoramento frequente, o que pode ser promovido a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento.

Tabela 17: Classes de uso da terra nas nascentes da bacia (extensão capixaba)

Classes de uso	Área (km²)	Perímetro (km)	Área (%)
Brejo	1,09	81,43	7,74
Café	0,54	34,52	3,83
Eucalipto	0,05	3,76	0,35
Floresta	3,36	172,81	23,85
Pastagem	9,05	480,80	64,23
Total	14,09	773,32	100,00

4.3.2 Nos cursos d'água

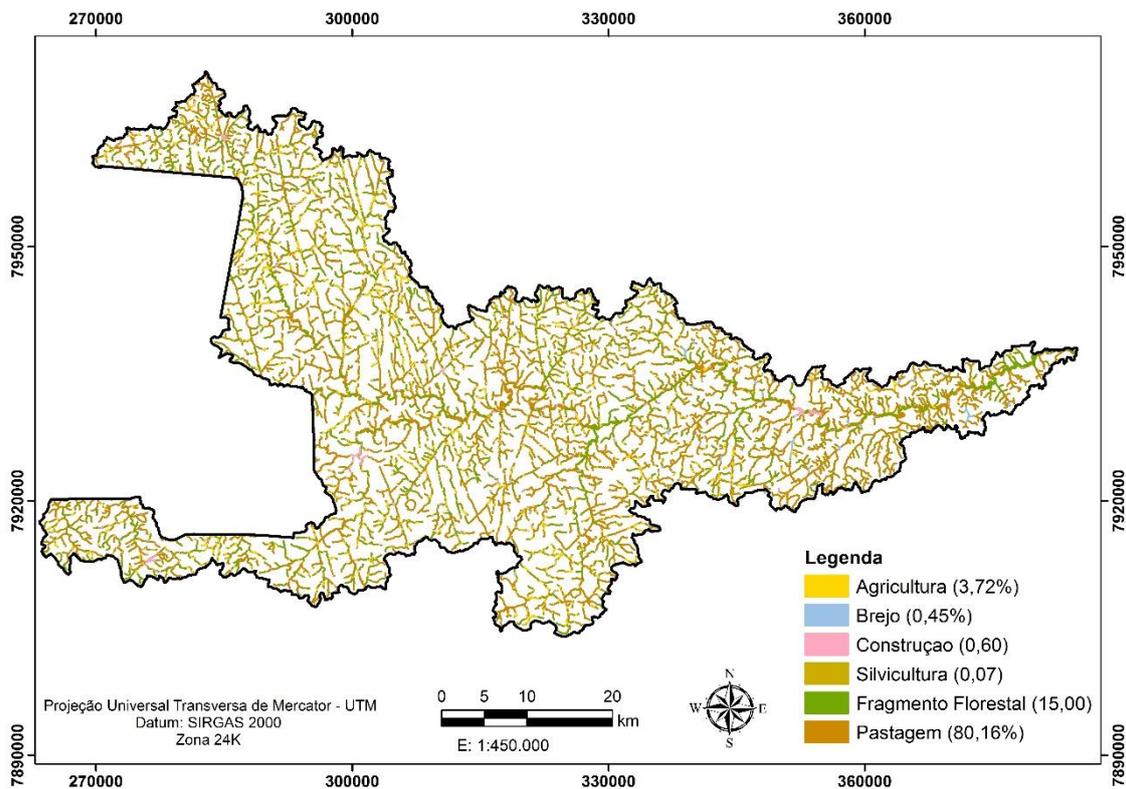


Figura 20: Classes de Uso da Terra nas APPs de Cursos d'água da Extensão Capixaba da Bacia Hidrográfica

As APPs de cursos d'água ocupam 371,06 km² na bacia do rio Cricaré. Na extensão capixaba estão localizadas 231,32 km² (62,3%). Assim como para as nascentes, foi realizada a classificação visual e a digitalização em tela das classes de uso do solo.

A metodologia adotada possibilitou identificar que as APPs de curso d'água na extensão capixaba da bacia estão predominantemente ocupadas por pastagem (80,16%), seguidas de fragmento florestal (15%), agricultura (3,72%), construções (0,60%), área brejosa (0,45%) e silvicultura (0,07%), conforme pode ser observado na Figura 20 e Tabela 18.

Coutinho et al. (2013) destaca que a utilização de atividades agropecuárias em APPs representa um fator de comprometimento do uso sustentável da água e do solo, principalmente ao se considerar a dependência da agropecuária pela disponibilidade quantitativa e qualitativa destes recursos.

Estas dados vão ao encontro das observações de campo onde contatou-se predomínio de pastagens mal manejadas e compactadas nas margens dos rios, deixando o solo exposto e sem proteção contra a erosão das chuvas.

Tabela 18: Classes de uso da terra nas margens de córregos da bacia (extensão capixaba)

Classes de uso	Área (km²)	Perímetro (km)	Área (%)
Agricultura	8,61	762,26	3,72
Brejo	1,03	52,44	0,45
Construção	1,39	131,54	0,60
Eucalipto	0,16	15,96	0,07
Floresta	34,70	2190,79	15,0
Pastagem	185,43	8986,57	80,16
Total	231,32	12139,56	100,00

4.3 Avaliação do Mapa Temático

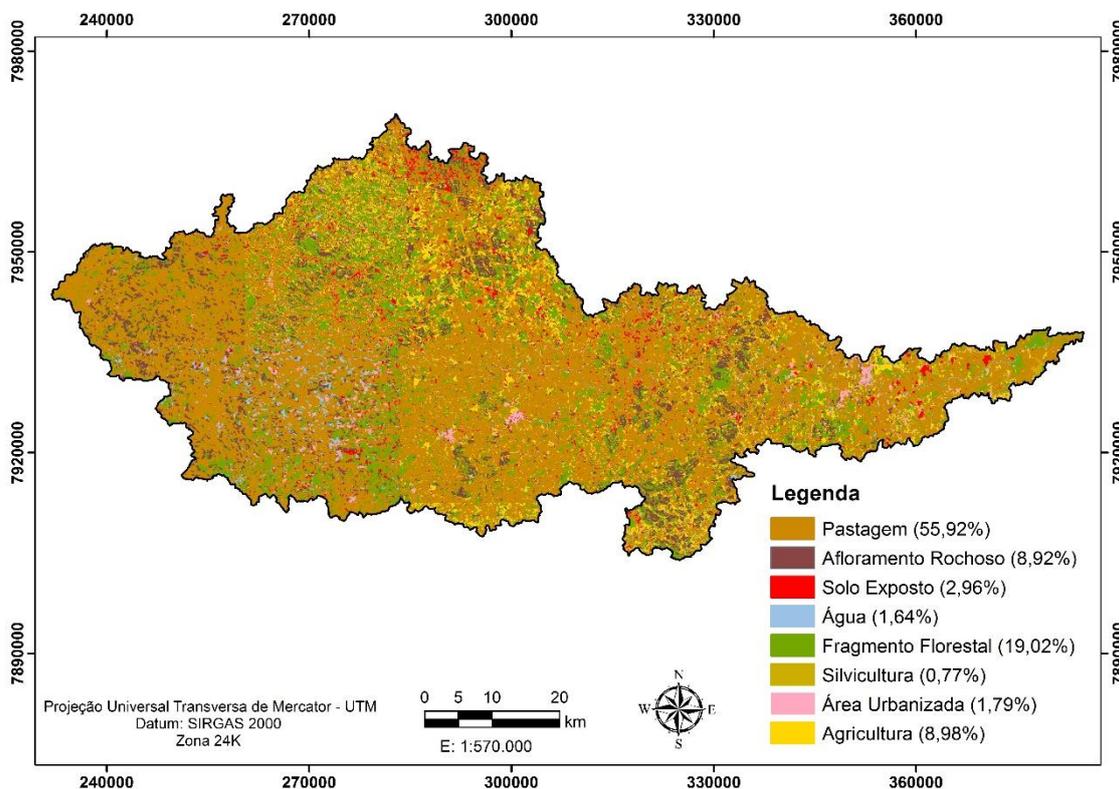


Figura 21: Mapa de uso do solo

A figura 21 apresenta o mapa resultante da classificação utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER). De acordo com INPE (2008), este algoritmo considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que esta classificação seja precisa é necessário um número razoavelmente elevado de *pixels* para cada conjunto de treinamento. A partir dos conjuntos de treinamento pode ser gerado o diagrama de dispersão das classes e estimadas nas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição Gaussiana (distribuição normal) para cada classe do treinamento.

Para duas classes com distribuição de probabilidade distintas, as distribuições representam a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma ou outra classe, dependendo da sua posição em relação a esta distribuição. Ocorre uma região onde as duas curvas sobrepõem-se, indicando que um

determinado *pixel* tem igual probabilidade de pertencer às duas classes. Nesta situação estabelece-se um critério de decisão a partir da definição de limiares.

Os limiares estabelecidos na Tabela 5 serviram de base para avaliar a classificação de uso da terra como excelente, de acordo com Landis e Koch (1977), pois o índice Kappa alcançado foi 0,95.

Tabela 19: Classes de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Cricaré

Classes de uso	Área (km²)	Perímetro (km)	Área (%)
Fragmento Florestal	863,13	27885,69	19,02
Silvicultura	34,94	2215,92	0,77
Afloramento Rochoso	404,79	16215,95	8,92
Área Urbanizada	81,23	4655,39	1,79
Água	74,42	4602,54	1,64
Agricultura	407,51	24419,56	8,98
Pastagem	2537,66	42843,68	55,92
Solo Exposto	134,32	7920,24	2,96
Total	4538,02	130758,98	100,00

A tabela 19 apresenta as classes de uso da terra presentes na bacia do Cricaré. Verifica-se que do total da área da bacia (4538,02 km²), a pastagem é predominante, correspondendo a 2537,66 km² (55,92%). De acordo com Louzada (2008), esta cobertura vegetal quando bem cuidada, proporciona o recobrimento da superfície do solo durante todo o ano, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, quando comparados com culturas agrícolas, que deixam o solo exposto durante o preparo do solo para o plantio. No entanto, com as observações de campo observam-se áreas mal manejadas, e parte compactada devido à presença de animais, deixando o solo descoberto e sem proteção contra erosão das chuvas e dos ventos, diminuindo a infiltração e afetando diretamente a vazão das nascentes.

Na classe agricultura, foram consideradas culturas como milho, pimenta do reino e cana de açúcar. O cultivo de café, cultura com expressiva representatividade na área da pesquisa, destacou-se na extensão capixaba da bacia como principal cultura agrícola.

Reunidas, agricultura e pastagem, ocupam 64,90% da área da bacia, mostrando que mais da metade da vegetação natural foi suprimida por conta

das atividades agropecuárias. No que se refere a vegetação natural preservada, foi avaliado que 19,02% corresponde a fragmentos florestais em diferentes estágios de regeneração.

A silvicultura por sua vez está presente em 0,77% do território da bacia, o que justifica o interesse de empresas de celulose em fomentar o plantio de eucalipto nesta região. Neste contexto, cabe destacar os recentes protestos contra o fomento desta atividade na região, partindo principalmente das representações sociais como o Movimento dos Pequenos Agricultores, que temem o impacto negativo sobre os recursos hídricos da região.

O solo exposto, característicos da áreas de mineração e áreas recém preparadas para cultivo agrícola, bem como de solos altamente degradados representa 2,96% da bacia. Já a classe água representa 1,64% da bacia e é formada pelos rios e seus afluentes, bem como pelas barragens, poços escavados e lagoas.

A taxa de acerto ou Exatidão Global, proposta por Hellden et al. (1980), calculada dividindo-se a soma dos valores da diagonal principal da matriz de erros, pelo número total de amostras coletadas, foi de 0,99. Segundo Brites et al. (1996), este índice apresenta os maiores valores quando comparado a outros índices pelo fato de considerar apenas a diagonal principal da matriz de erros, ignorando a ocorrência de concordância casual entre as classes.

Observando a matriz de confusão (Tabela 20), nota-se que as classes de pastagem, fragmento florestal e afloramento rochoso foram as que apresentaram a melhor separação das demais e também as que mais contribuíram para o aumento das porcentagens dos coeficientes de concordância total devido ao número de amostras de referência e às poucas misturas com outras classes.

As classes que obtiveram maior mistura com as demais e, conseqüentemente, mais contribuíram para a redução das porcentagens dos coeficientes de concordância total foram água, solo exposto e agricultura.

Tabela 20: Matriz de Erros da classificação por pixel (Maxver)

Referência Classificação	Fragmento Florestal	Silvicultura	Afloramento Rochoso	Área Urbanizada	Água	Agricultura	Pastagem	Solo Exposto	Total
Fragmento Florestal	341341	67	997	14	70	1707	2020	64	346280
Silvicultura	24	4097	2	0	1	15	4	2	4145
Afloramento Rochoso	2105	15	254939	36	3291	790	724	50	261950
Área Urbanizada	50	0	227	122161	112	379	616	4992	128537
Água	15	0	73	8	2153	0	36	5	2290
Agricultura	1012	77	56	1	3	73855	306	14	75324
Pastagem	22874	2	10135	4056	3218	18179	6219062	7375	6284901
Solo Exposto	24	0	27	25	2	8	413	17850	18349
Total	367445	4258	266456	126301	8850	94933	6223181	30352	7121776

Conforme destaca Caixeta et al. (2012) a variação de exatidão entre as classes avaliadas pode ser associada a limitações comuns do sensoriamento remoto, dentre elas a distinção de alvos com respostas espectrais parcialmente semelhantes, como por exemplo: os cafezais com florestas exóticas e florestas estacionais; solos expostos com pastagens degradadas e área agrícola com pastagem.

Outro possível fator de confusão na classificação automática é o relevo montanhoso, pois, mesmo sendo o imageamento realizado às 11 horas, o alinhamento sol-terra-sensor, impede que a radiação eletromagnética seja refletida pelos alvos localizados em encostas íngremes de forma plena, detectando apenas sombras. Este fator interfere na resposta espectral de alvos localizados nestas encostas e conseqüentemente na qualidade da classificação automática.

Tabela 21: Erros de Omissão e Comissão

Classes de uso	Erros de Omissão	Erros de Comissão
Fragmento Florestal	1,43%	7,10%
Silvicultura	1,16%	3,78%
Afloramento Rochoso	2,68%	4,32%
Área Urbanizada	4,96%	3,28%
Água	5,98%	75,67%
Agricultura	1,95%	22,20%
Pastagem	1,05%	0,07%
Solo Exposto	2,72%	41,19%

Analisando a Tabela 21 é observado que 75,67% da classe água estão erroneamente incluídos em outras classes (erro de omissão), principalmente afloramento rochoso e pastagens. Isto devido a resposta espectrais semelhantes. Nas rochas, possivelmente pelo sombreamento nas encostas íngremes, e nas pastagens principalmente pelas áreas de brejo.

Com relação ao solo exposto, o algoritmo teve dificuldade em diferenciá-lo da classe de pastagem visto que estas áreas, em sua maioria, tratam-se de pastos degradados, havendo na imagem uma mistura espectral entre pixels correspondentes, dificultando a separação dos usos. O mesmo para fragmento florestal e agricultura, que possuem recorrente confusão espectral.

Sarmiento (2014) em seu trabalho sobre mapeamento e caracterização de áreas cafeeiras utilizando imagens de alta resolução espacial encontrou confusão espectral do uso mata com a classe café, devido a proximidade do padrão espectral de ambos face a ocorrência de vegetação natural menos densa.

5. CONCLUSÕES

- A bacia hidrográfica do rio Cricaré é pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, isto devido aos reduzidos valores do coeficiente de compacidade, índice de circularidade e do fator de forma.
- A bacia possui um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático, fato este observado pelos baixos valores do coeficiente de torrencialidade e da densidade de drenagem.
- A bacia hidrográfica do rio Cricaré é de sexta ordem, apontando que o sistema de drenagem da bacia é altamente ramificado.
- As características da declividade da bacia indicam que 42,28% da área da bacia possui relevo ondulado e altitude média de 348,73 m.
- O relevo é predominantemente baixo, minimizando o escoamento superficial e a velocidade da água no canal principal.
- As APPs representam 9,68% da área total da bacia, predominando a APP de cursos d'água.
- A bacia é formada por 6268,67 km de cursos hídricos e 3021 nascentes. Na extensão capixaba estão localizadas 1792 nascentes e suas APPs estão predominantemente ocupadas com pastagem (64,23%).
- Estão localizados na extensão capixaba da bacia 231,32 km² de APPs de cursos d'água (62,3%), predominantemente ocupadas com pastagem (80,16%).

- A principal forma de uso da terra na bacia do Cricaré refere-se a agropecuária, ocupando 64,90% da área total, sendo composta pela agricultura, com ocupação de 8,98% e pela pecuária, com 55,92%. A área preservada com Mata Atlântica nativa é de 19,02%.

- Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) se mostraram uma ferramenta eficiente no que diz respeito à obtenção das características físicas da bacia, de uma forma simples e automatizada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**, 1995.

ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n.2, p.117-127, 2003.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas Utilizando Dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, 2010.

ARAÚJO, L.E., SOUSA, F.A.S., MORAES NETO, J.M., SOUTO, J.S., REINALDO, L.R.L.R., **Bacias hidrográficas e impactos ambientais**. Qualit@s Revista Eletrônica, Paraíba, v.8, n.1, p.1-18, 2009.

ATTANASIO, C.M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 193f., 2004.

BARACUHY, J.G.; KURTZ, S.M.J.M.; KURTZ, F.C.; DUARTE, S.M.A.; LIMA, V.L.A.; ROCHA, J.S.M.; NETO, J. Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Pau Branco, Campina Branca, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.159-164, 2003.

BAENA, L.G.N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 135f., 2002.

BARBOSA, M.E.F.; FURRIER, M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Guruji, Litoral Sul do Estado da Paraíba. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, Brasil, 2009.

BARROS, K.O. et. al. Análise temporal das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.5, n.2, caderno I, p.43-54, 2013.

BERTAZI, M.H.; ASSAF, E.M.; SANTOS, S.A.M. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de percepção ambiental e a construção de material didático de apoio ao estudo das bacias hidrográficas. **Revista Eletrônica de Ciências**. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_49/sig.html>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2016.

BORSATO, F.H. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. 2005.

BRAGA, R.; CARVALHO, P.F. Zoneamento ambiental urbano por micro-bacias hidrográficas: estudo de viabilidade em cidade média no Estado de São Paulo – BR. **Anais...** Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano e Regional Integrado e Sustentável, São Carlos, USP, 2005.

BRASIL. Código Florestal de 1934, de 23 de janeiro de 1934. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_federal/LEIS/CODIGO_FLORESTAL_1934.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2015.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html> Acesso em: 28 jul. 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 28 jul. 2015.

BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Efeitos da estratégia de amostragem na exatidão reportada pelo índice de kappa na classificação de imagens orbitais. **Anais...** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 1996.

CAIXETA, P.R.C.; EDMUNDO, I.S.B.; RODRIGUES, A.F.S.; MOREIRA, G.F.; MEDEIROS, N.G. **Processamento de Imagens de Alta Resolução RapidEye para Mapeamento do Meio Físico**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, p.001 a 008, 2012.

CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N. Estudo da morfologia areal da bacia do rio Araguaia utilizando MDE. **Revista Geoaraguaia**. v.1, p.69-76, 2011. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4025661>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, v.5, n.2. 2009

CATELANI, C.S.; BATISTA, G.T.; TARGA, M.S.; DIAS, N.W. Determinação de áreas prioritárias para o restabelecimento da cobertura florestal, apoiada no uso de geotecnologias. **Revista Ambiente e Água**, v.7, n.3, p.113-126, 2012.

CHAGAS, C.S.; FILHO, E.I.F.; ROCHA, M.F.; JÚNIOR, W.C.; NETO, N.C.S. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.218–226, 2010.

CHAVES, M.A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 113f., 2002.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980

CONORATH, GD. **Águas Urbanas: Análise Morfométrica e Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC**. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Estadual de Santa Catarina, 159f., 2012.

COUTINHO, L.M. **Impacto das Áreas de Preservação Permanente sobre a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo-ES**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). - Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 86f., 2010.

COUTINHO, L.M.; ZANETTI, S.S.; CECÍLIO, R.A.; GARCIA, G.O.; XAVIER, A.C. Usos da Terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.4, p.425-434, 2013.

CUNHA, H.N.; NÓBREGA, M.R.R.; FIORI, D.; ALBA, J.M.F.; MIURA, A.K.; SALDANHA, D.L. Mapeamento de áreas de preservação permanente de topo de morro na bacia hidrográfica do Alto Camaquã, RS, nos termos da resolução CONAMA de 2002 (revogado) e do Novo Código Florestal de 2012. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, p.6826-6832, 2015.

DE SOUZA, C.H.W.; BAZÍLIO, S.; WRUBLACK, S.C.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M.A. Delimitação automática da microbacia hidrográfica do Rio das Lontras, através de dados SRTM. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, Brasil, v.1, p.5515-5522, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0277.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

ELESBON, A.A.A.; GUEDES, H.A.S.; SILVA, D.D.; OLIVEIRA, I.C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia

hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil. **Revista Escola de Minas**, v.64, n.3, p.281-288, 2011.

ELESBON, A.A.A.; FERREIRA, R.G.; SILVA, D.D.; GUEDES, H.A.S. Comparação Morfométrica Utilizando Plataforma SIG a partir de Dados SRTM e IBGE para a Bacia Hidrográfica do Rio Pancas, ES. **Anais... XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, RS, p.1-11, 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 412p., 1999.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Missão RapidEye. 2008**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/rapideye.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

EPAGRI – Gerência Regional da E. E. de Urussanga. Plano de gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá – Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. **Análise das Características Físicas**. V. 3. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Florianópolis – SC, 1997.

ESPÍRITO SANTO. Lei nº 5,818, de 29 de dezembro de 1998. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento e Monitoramento dos Recursos Hídricos, do Estado do Espírito Santo - SIGERH/ES. **Departamento de imprensa oficial do Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES, 30 dez. 1998.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS® 10.1: Getting started with ArcGIS**. Redlands: ESRI, 2013.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS® – Tutorials**. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Acesso em 24 Jul. 2015.

ESTEVAM, L.S.; PEREIRA, S.A. Áreas de preservação permanente a luz do novo código florestal. **Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, Brasil, v.1, p.2301-2308, 2015.

EUGENIO, F.C.; SANTOS, A.R.; LOUZADA, F.L.R.O.; PIMENTEL, L.B.; MOULIN, J.V. Identificação de áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. **Cerne**, v.17, n.4, p.563-571, 2011.

FELIX et. al. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7619-7622.

FERNANDES, M.R.; SOUZA, L.L.M. **Parâmetros básicos de bacias hidrográficas - Inferências**. Disponível em: http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/d_d_d_1850.pdf. Acesso: em 22. jul.2015.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 151f., 1968.

FREITAS, R.O Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Bol. Paul. Geogr.**, São Paulo, n.11, p.53-57, 1952.

FUSHITA, A.T.; SANTOS, J.E. Modelagem da dinâmica de usos da terra na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu (SP). **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, Brasil, v. 1, p.215–222, 2015.

GASPARI, F.J. et al. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. 1 ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, p.188, 2013.

GASPARINI, K.A.C.; LYRA, G.B.; FRANCELINO, M.R.; DELGADO, R.C.; OLIVEIRA JUNIOR, J.F.; FACCO, A.G. Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ. **Floresta e Ambiente**, v.20. n.3, p.296-306, 2013.

GIOTTO, E.; KIRCHNER, F.F.; MADRUGA, P.R.A. Caracterização de parâmetros físicos da subbacia hidrográfica do Aroio Grande- uma aplicação do sistema georeferenciado para manejo integrado de bacias hidrográficas (SGMIBH). **Anais... Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Santa Maria, v.4, p.2159-2177, 1992.

GOSCH, M.S.; FERREIRA, M.E. Monitoramento da Reserva Legal em assentamentos rurais em Goiás: um estudo de caso para a unidade de Umuarama, com base em dados orbitais Landsat e RapidEye. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, PB, v.1, p.763-770, 2015.

GOULARTE, E.R.P.; MARCUZZO, F.F.N.; MACEDO, F.C. Estudo Hidromorfométrico da Área de Contribuição da Bacia Hidrográfica a Montante de Goiânia/GO. **Revista GeoAraguaia**, V Edição, p.147-162, 2013. Disponível em: <http://revistas.cua.ufmt.br/revista/index.php/geoaraguaia/article/viewArticle/470>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

GUARIZ, H.R. **Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do Córrego Jaqueira-Alegre, ES**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 275f., 2008.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, Brasil, p.472, 1995.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**. New York, v. 56. p.807-813, 1945.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 106, 211-232, 1989.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - **Manuais: tutorial de geoprocessamento**, SPRING, 2008.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, p.242, 1986.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. **As florestas plantadas e a água**. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: Ed. Rima, p.226, 2006.

LORCA NETO, R.O. **Análise Ambiental da Bacia do Ribeirão Fazenda Velha, Ibiúna-SP: Subsídios para o Planejamento Ambiental e Conservação dos Recursos Hídricos**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, 122f., 2013.

LOUZADA, F.L.R.O; SANTOS, A.R. Conflito do uso e ocupação do solo em APPs da bacia hidrográfica do ribeirão Estrela do Norte- ES. **Anais... IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação- EPG**, São José dos Campos, SP, 2009.

LUIZ, S.; SANTOS, A.R.S.; BRENNER, T. L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS. **Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, p.581-587, 2007.

LUPPI, A.S.L.; SANTOS, A.R.; EUGENIO, F.C.; FEITOSA, L.S. Utilização de Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município de João Neiva, ES. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.1, p.13-22, 2015.

MACEDO, F.C.; MAGALHÃES, D.F.; Formação econômica do Espírito Santo: do isolamento econômico à inserção aos mercados nacional e internacional. **Revista de História Regional**, v.16, n.1, p.61-99, 2011.

MARCUZZO, F.F.N.; CARDOSO, M.R.D. Delimitação e estudo das ottobacias da sub-bacia 63 utilizando MDE de imagens de radar ASTER GDEM. **Revista Geoaraguaia**, v. 3, p. 50-60, 2013. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4340755>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

MARCUZZO, F.F.N.; CARDOSO, M.R.D.; VEIGA, A.M. Estudo da Delimitação por MDE de Ottobacias de Cursos de Água da Sub-Bacia 63 Visando o Cálculo

de Perímetro e Área de Drenagem. **Anais...** Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia, São Paulo, EDUSP, v.1. p.72. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_delimitacao_Marcuzzo.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2015.

MOREIRA, M.C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 108f., 2006.

MARQUES, F.A.; SILVA, D.D. Obtenção pixel a pixel de variáveis morfométricas em SIG após tratamento de dados SRTM. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, p.3445-3452, 2007.

MARQUES, H.G.; PENATTI, N.C.; PARANHOS FILHO, A.C.; FROEHLICH, O.; DE ALMEIDA, T.I.R.; SHIMABUKURO, Y. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, v.1, p.1271–1278, 2011. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p1263.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

MARTINI, D.Z.; MOREIRA, M.A.; DALLA-NORA, E.L. Emprego de Geotecnologias para Identificar Áreas para Expansão Agrícola de Soja no Estado de Rondônia. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, p.1455-1462, 2015.

MAS, J.F.; SANDOVAL, A.F. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. **Geotrópico**, v.5, n.1, 2011.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C.E.F. Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: **Relatório Final**. Brasília: UNEP-WCMC, p.120, 2011.

MELATI, M.D.; MARCUZZO, F.F. Modelos digitais de elevação na delimitação automática das sub-bacias do rio Taquari-Antas no Rio Grande do Sul. **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, Brasil, v.1, p.360-367, 2015.

MELLO FILHO, J.A.; ROCHA, J.S.M. Diagnóstico físico-conservacionista da sub-bacia hidrográfica do rio Sesmaria, em Resende-RJ. **Anais...** Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Santa Maria, p. 2178-2191, 1992.

MENDES, L.S.; ROSENDO, J.S. Proposta metodológica para classificação do grau de preservação/degradação em nascentes. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v.4, n.2, p. 491-508, 2013.

NASCIMENTO, W.N.; VILLAÇA, M.G. Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Três Lagoas, MS, v.5, n.7, p.102-120, 2008.

NUNES, A.R. **Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APP's e Estimativa de Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 80f., 2013.

OLIVEIRA, G.C.; FERNADES FILHO, E.I. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morro segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica. **Anais...** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v.2, n.1, 2011. Disponível em: < <http://ipublishing.co.in/jggsvol1no12010/voltwo/EIJGGS3022.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2014.

PERINI, A.B.; MARCUZZO, F.F.N.; DA SILVA, D.R.A. Modelos Digitais de Elevação no mapeamento de suscetibilidade de inundação no município de Pedro Osório/RS. **Anais...** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, v.1, p.6417-6424, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1167.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

PINTO JUNIOR, O.B.; ROSSETE, A.N. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeira, MT-Brasil.** Geoambiente – Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Avançado de Jataí-GO, n.4, jan-jun 2005. Disponível em: <<http://www.jatai.ufg.br/geoambiente.htm>>. Acesso em: 28 jul. 2015.

PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C.A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.2, p.39-47, 2005.

PISSARRA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.2, p. 297-305, 2004.

POLITANO, W.; PISSARRA, T.C.T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.1, p.179-186, 2003.

PORTO, M.F.A.; PORTO, R.L.L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, 2008.

REDIVO, A. L.; GUIMARÃES, R. F.; RAMOS, V. M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; MARTINS, E. de S. **Comparação entre diferentes interpoladores na delimitação de bacias hidrográficas**. Planaltina-DF: EMBRAPA Cerrados, 2002.

REIS, A.A. et al. Land use and occupation analysis of Permanent Preservation Areas in Lavras County, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.36, n.3, 2012.

ROCHA, J.S.M. **Avaliação quantitativa da capacidade de uso da terra do estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Livre Docência) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 169f., 1977.

ROSSI, M.; PFEIFER, R.M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.141-156, 1999.

SAITO, N. S. **Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre - Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 120f., 2011.

SAMPAIO. R. **Direito ambiental**. Fundação Getúlio Vargas, 2011.

SANTOS, A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrológica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 143f., 2001.

SANTOS, A.R; PELUZIO.; T.M.O.; SAITO, N.S. **Spring 5.1.2 passo a passo: aplicações práticas**. 1. ed. Alegre: CAUFES, 2010. v. 1, 153 p. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/spring5x.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

SANTOS, L. B. L.; LINHARES, C. A. ArcGis, IDL-HAND e TerraHidro: avaliando eficácia e eficiência na delimitação de bacias hidrográficas usando diferentes fontes de dados altimétricos. **Anais...** Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, Rio Claro, Brasil, p.1-10, 2012.

SANTOS, F.A.A.; LORENÇO, R.F.; SANTOS, R.R.T.; RIBEIRO, N.C.C. O uso da geoinformação no monitoramento e fiscalização da atividade pecuária no Estado do Pará. **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, v.1, p.1577 – 1584, 2015.

SARMIENTO, C.M. **Mapeamento e Caracterização de Áreas Cafeeiras Utilizando Imagens de Alta Resolução Espacial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 138f., 2013.

SARTORI, A.A.C.; SILVA, R.F.B.; ZIMBACK, C.R.L. Combinação Linear Ponderada na Definição de Áreas Prioritárias à Conectividade entre

Fragmentos Florestais em Ambiente SIG. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1070-1090, 2012.

SCÁRDUA, M.D. **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Análise Espacial de Bacias Hidrográficas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). - Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 80f., 2013.

SILVA, A.M.; MELLO, C.R. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras. In Site: www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/ Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng_170.htm. Acesso em: 27 jul. 2015.

SILVA, J. R.; MOURA, A.C.M. Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, v.1, p.4496–4502, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1304.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

SOARES, P.A. et al. Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. **Revista de estudos ambientais** (online), v.12, n.1, p.29-38, 2010.

SOUZA, N.S.; CARDOSO, J.M.S.; SOUZA, W.J.; SANTOS, J.Y.G.; SANTOS, P.S. Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio das Fêmeas, Oeste da Bahia com uso de Geotecnologias. **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, v.1, p.1884-1891, 2015.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, p.1117-1142, 1952.

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

TALON, G.C.; KUNTSCHIK, G. Delimitação da rede de drenagem utilizando dados SRTM. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, v.1, p.1271–1278, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1057.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

TEIXEIRA, A.J.A., CRUZ, C.B.M. Classificação de bacias de drenagem com o suporte do sensoriamento remoto e geoprocessamento - o caso da Baía de Guanabara. **Anais...** XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, p. 2779-2786, 2005.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p.943, 2009.

VAEZA, R.F.; OLIVEIRA FILHO, P.C, MAIA, A.G.; DISPERATI, A.A, Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v.17, n.1, p.23- 29, 2010.

VIEIRA, M.V.; PELUZIO, T.M.O.; SAITO, N.S.; Souza, S.M.; Louzada, F.L.R.O.; Santos, A.R. Delimitação das áreas de preservação permanente do terço superior de topo de morro, para as microrregiões sudoeste serrana, litoral norte e extremo norte do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.6, n.2, p.142-151, 2011.

VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M.L.; VIEIRA, E.M.; SIMÃO, M.L.R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do Ribeirão Conquista no Município de Itaguara-MG. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, Viçosa, UFV, v.1, p. 42-43, 2009.

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

VON SPERLING, M.V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, p.588, 2007.