



# A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO RIBEIRÃO DESCALVADO NAS SUAS TRÊS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DA CUESTA BASÁLTICA, BOTUCATU-SP<sup>1</sup>

André Stefanini Jim<sup>2</sup> & Célia Regina Lopes Zimback<sup>3</sup>

**RESUMO:** A avaliação ambiental de bacias hidrográficas considerando-se as feições geomorfológicas das *Cuestas* basálticas do Estado de São Paulo é uma abordagem relevante e pouco usual nos estudos de bacias hidrográficas localizadas nestas regiões. O Ribeirão Descalvado localiza-se na região das *Cuestas* Basálticas de Botucatu-SP e na Área de Proteção Ambiental (APA) – Perímetro de Botucatu, caracterizando-se por ser um rio obsequente, que sulca a encosta da frente da *Cuesta*. As *Cuestas* Basálticas constituem uma formação única no planeta e a preservação de suas feições básicas é de fundamental importância. O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais capazes de realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes em um banco de dados georreferenciados. Este trabalho teve por objetivo analisar e diagnosticar os conflitos de uso do solo da bacia do Ribeirão Descalvado, afluente do Rio Capivara, localizado em Botucatu-SP, adotando uma nova abordagem de separação da sub-bacia nas três feições geomorfológicas, “Reverso da *Cuesta*”, “*Front* da *Cuesta*” e “Depressão Periférica”. As análises se basearam na construção de um banco de dados digitais por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG-SPRING) e de imagens de satélite (CBERS-2). Os procedimentos empregados permitiram a detecção e mensuração dos conflitos no uso do solo e inadequação das APP’s, concluindo-se que a degradação ambiental na sub-bacia não apresenta altos percentuais de degradação globais (6,72% da área total), mas quando adotada a abordagem das feições geomorfológicas, observou-se que 53,67% dos conflitos estão localizados no *Front* da *Cuesta*. As principais causas são devido à ausência das matas ciliares ao longo do rio em estudo e degradação com relação ao uso inadequado do solo. Concluiu-se que a abordagem das feições geomorfológicas revela aspectos prioritários no manejo e conservação de bacias hidrográficas localizadas nas áreas de *Cuestas* basálticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Uso do solo, feições geomorfológicas, matas ciliares, CBERS-2.

## ENVIRONMENTAL DEGRADATION OF DESCALVADO STREAM IN ITS THREE GEOMORPHOLOGICAL FACIES OF THE BASALTIC CUESTA, BOTUCATU,SP

**ABSTRACT:** The environmental watersheds assessment that considers the geomorphological facies of the basaltic *Cuesta* in São Paulo State is a relevant and unusual approach in studies of watersheds located in these regions. Descalvado stream is located at Botucatu-SP in an Ambient Protection Area (APA) and is characterized by being an obsequent river, grooving the *Front* slope of the *Cuesta*. The Basaltic *Cuesta* constitutes a single formation on the planet and the preservation of its basic features is of paramount importance. Geoprocessing uses mathematical and computational techniques capable of performing complex analyses by integrating data from various sources into a georeferenced database. This work aims to analyze and diagnose conflicts of land use of Descalvado stream, a Capivara’s tributary basin, located in Botucatu, according to the three geomorphological aspects, “*Cuesta* backslope”, “*Cuesta Front*” and “peripheric depression”. The analyses were based on a digital database using a Geographic Information System (SIG-SPRING) and satellite images (CBERS-2). It was concluded that environmental degradation in the watershed does not present a high global degradation percentage (6.72% of the total area), but regarding the geomorphological facies, it was observed that 53.67% of the conflicts are located in the “*Cuesta Front*”. The causes was mainly due to the absence of buffer areas along the studied stream and to inadequate soil use. It was concluded that the geomorphological facies approach reveals priority aspects in the management and conservation of watersheds located in the areas of basaltic *Cuesta*.

**KEYWORDS:** Land use, geomorphological facies, buffer areas, CBERS-2.

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação ambiental de bacias hidrográficas considerando-se as feições geomorfológicas das *Cuestas* basálticas do Estado de São Paulo é uma abordagem relevante e pouco usual nos estudos de bacias hidrográficas localizadas nestas regiões. Não há

<sup>1</sup> Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: “Geoprocessamento no diagnóstico físico-ambiental do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP”.

<sup>2</sup> Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – FCA/UNESP, Botucatu/SP. E-mail: andre\_sjim@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Orientadora e docente do Departamento de Ciências do Solo – FCA/UNESP, Botucatu/SP, Brasil, E-mail: czimback@gmail.com

trabalhos na literatura que enfatizam esta abordagem, em particular.

A região de Botucatu engloba parte da Bacia do Paraná e da Depressão Periférica. O “*Front*” (Serra de Botucatu) é festonado por drenagem obsequente e a Depressão Periférica de paisagem plana é sulcada por drenagem ressequente do Quaternário e formando morrotes baixos nos interflúvios. A *Cuesta* é cortada pelo rio Tietê, num “*percée*” conseqüente, que recebe os rios subseqüentes Capivara e Araquá, ambos alimentados por rios obseqüentes que nascem na *Cuesta* ou por rios resseqüentes da Depressão Periférica (JIM, 1980). A sub-bacia do Ribeirão Descalvado, um rio obsequente, é afluente do Rio Capivara, um rio ressequente (sensu CRISTOFOLETTI, 1974). As feições geomorfológicas apresentam uma faixa de cotas que as definem, que variaram de 450-650 m (Depressão Periférica), 650-840 m (*Front* da *Cuesta*) e 790-940 m (Reverso da *Cuesta*) (ARAUJO JUNIOR, 2001).

Traficante (2016) afirma que toda a Bacia Hidrográfica do Rio Capivara pode ser considerada frágil, especialmente devido aos problemas ocasionados do uso do solo, apontando as áreas destinadas às pastagens como o fator mais preocupante. A leitura obtida por Nossack et al. (2014), evidencia a presença de processos erosivos acelerado nas nascentes dos corpos d’água e fragmentação da vegetação nativa, especialmente nas encostas. Pisani, Demarchi e Riedel (2016) afirmam que as mudanças de uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Capivara pode ocasionar degradação de sua estrutura e perda de solos por erosão, comprometendo a recarga do Aquífero Guarani. Pisani, Demarchi e Riedel (2016) afirmam ainda a necessidade de gestão, restrição e controle do uso e ocupação da terra nestas áreas, uma vez que se trata de uma região englobada pela Área de Proteção Ambiental Corumbataí, Botucatu, Tejuπά.

O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais capazes de realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes em um banco de dados georreferenciados. Para Reis Filho e Moura (2014) e Souza (2017), o geoprocessamento é uma importante ferramenta de gestão ambiental por reunir técnicas capazes de tratar a informação espacial de modo a integrar distintas fontes de dados, pois permite o manejo e gestão das áreas ao longo dos anos, possibilitando estudos preditivos para o ordenamento das estruturas informacionais.

Carvalho et al. (2014), afirmam que o mapeamento do uso do solo é fundamental para a espacialização e a quantificação das diversas ocupações, elementos funcionais existentes e seus reflexos no equilíbrio ambiental, os quais, em conjunto com o uso de imagens provenientes de sensores (principalmente com o advento das imagens de alta resolução espacial) apresentam uma perspectiva que motiva o desenvolvimento de classificadores de imagens. O mesmo autor afirma que o classificador de imagens MAXVER (Máxima Verossimilhança) do SIG-SPRING é um excelente

classificador, mas, exige tanto o conhecimento do operador quanto depende da qualidade da imagem a ser utilizada.

O sistema SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um sistema de geoprocessamento com um conjunto de ferramentas voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais e baseado num modelo de dados orientado a objetivos do qual são derivadas a interface de menus e a linguagem espacial LEGAL.

O programa CBERS utiliza os satélites CBERS 1 e CBERS 2, equipados com câmeras com observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados ambientais (DGI-INPE, Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Este trabalho teve por objetivo analisar e diagnosticar os conflitos de uso do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, afluente do Rio Capivara, localizado em Botucatu-SP. Para uma análise mais detalhada, ao contrário do comumente aplicado, foi adotada uma nova abordagem de estudo, separando-se a bacia hidrográfica nas três feições geomorfológicas abrangidas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

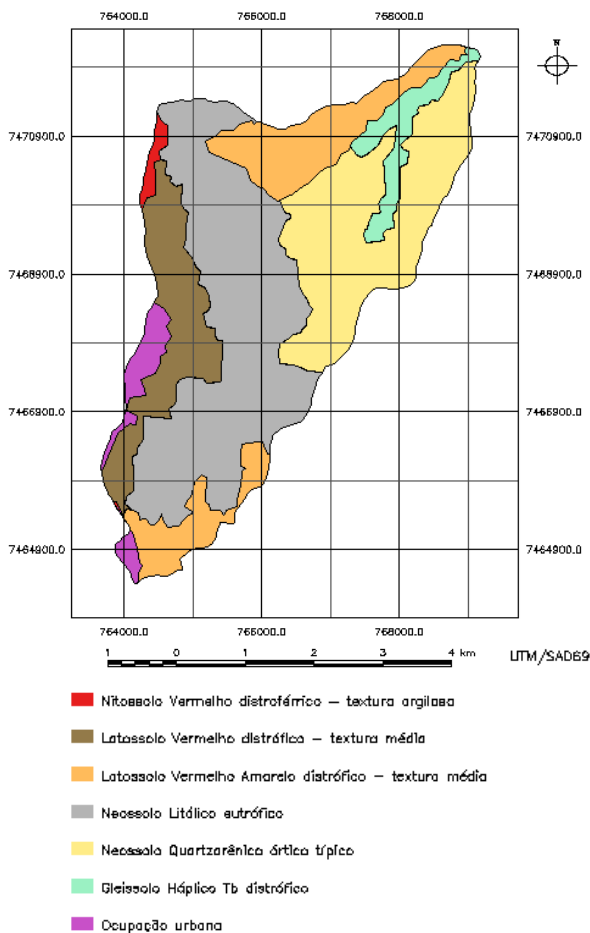
O Ribeirão Descalvado é uma sub-bacia da bacia do Rio Capivara, pertencente ao Município de Botucatu, região centro-sul do Estado de São Paulo e localiza-se na Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu, Tejuπά – perímetro Botucatu (ENGEA, 1990). A bacia do Rio Capivara situa-se entre os paralelos 22° 57’ 39’’ e 22° 39’ 36’’ de latitude S, e entre os meridianos 48° 17’ 34’’ e 48° 29’ 36’’ de longitude W.Gr. (CAMPOS, 1993).

O clima predominante para o município de Botucatu é do tipo Cfa, pelo sistema de Köppen – clima temperado chuvoso, e a direção predominante do vento é a sudeste (PIROLI, 2002). A precipitação média anual é de 1.447 mm, média no mês mais chuvoso de 223,4 mm e de 37,8 mm no mês mais seco. A temperatura média anual é de 20,2° C, sendo 23,2° C a média dos meses mais quentes e 16,9° C a média dos meses mais frios (MARTINS, 1989).

A área drenada pelo Ribeirão Descalvado abrange as três feições geomorfológicas regionais, o Reverso da *Cuesta*, *Front* da *Cuesta* e a Depressão Periférica. O Reverso da *Cuesta* apresenta relevos de suave ondulados a ondulados; o *Front* da *Cuesta*, predominantemente, relevos montanhosos a escarpados e a Depressão Periférica é semelhante ao Reverso. A área de estudo possui características geológicas do Grupo Bauru, dividido nas formações Marília, Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá e do Grupo São Bento, nas formações Serra Geral e Botucatu, de acordo com o Mapa geológico do Estado de São Paulo de 1981, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

As formações florestais são classificadas como Cerrado Tropical Subcaducifólio, com ocorrência de remanescentes da vegetação nas encostas íngremes de morros ou em galerias margeando alguns cursos d'água. Há presença de espécies florestais nativas de Mata Atlântica, porém, a maior parte da região é dominada pelas pastagens, várias delas em mal estado de conservação e trechos de agricultura familiar, com alguns pomares e pequenas lavouras (CAMPOS, 1993).

Segundo Piroli (2002), os solos que abrangem o local são caracterizados pela presença de latossolo vermelho-amarelo distrófico, predominando nas cotas médias e baixas (Depressão Periférica) e à margem esquerda do Ribeirão Descalvado, e em sequência pelo neossolo lítico eutrófico, já localizados na frente da *Cuesta*. À margem esquerda predomina o neossolo quartzarênico órtico típico, coincidindo com a Depressão Periférica da sub-bacia, e nas porções mais elevadas, já próximas ao topo da *Cuesta* pode-se encontrar o latossolo vermelho distrófico ainda ao lado esquerdo da sub-bacia e latossolo vermelho-amarelo distrófico ao lado direito e bem no topo há presença de nitossolo vermelho distroférrico (Figura 1).



**Figura 1** - Mapa de solos da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP. PIROLI (2002).

## 2.1 MATERIAL

O material cartográfico usado foram cartas do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) na escala 1:10.000, com equidistância vertical de 5 m, da área em estudo. Articulações: SF-22-Z-B-VI-3-NO-F (BOTUCATU-II), SR-22-Z-B-VI-NE-C (BOTUCATU-IV).

Foram utilizadas imagens do satélite CBERS 2, câmera CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução), com resolução espacial de 20 metros, operando em 5 faixas espectrais (pancromático, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), órbita 156, ponto 126, provenientes do DGI-INPE (Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Utilizaram-se as bandas azul (banda 2: 0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ), verde (banda 3: 0,52 - 0,59  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (banda 4: 0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ). A escolha da imagem de satélite usou basicamente os critérios de cobertura de nuvens, e visibilidade do local de estudo, isto é, proveniente de um período seco do ano de 2005.

Os equipamentos utilizados foram computador, impressora, scanner e receptor GPS Garmin e-MAP.

## 2.2 MÉTODOS

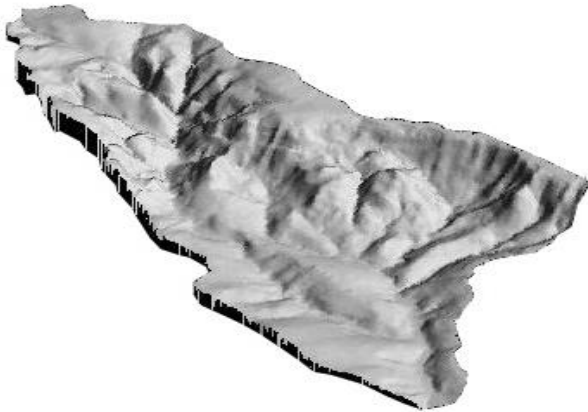
Foi confeccionado um banco de dados contendo curvas de nível e pontos cotados, limites da bacia hidrográfica (divisor de águas), rede de drenagem e pontos de nascentes, informações estas vetorizadas a partir das cartas topográficas do IGC. Foi utilizado o mapa de unidade de solo de Piroli (2002), escaneado e vetorizado. As imagens do satélite CBERS-2 foram obtidas via Catálogo de Imagens do site DGI-INPE.

Por meio do módulo IMPIMA (módulo de leitura de imagens do SPRING) se realizou o recorte da imagem e conversão para o formato GRIB (formato de arquivo de exportação para o SPRING). Cada uma das três bandas (2, 3 e 4) foi preparada separadamente, mas com as mesmas coordenadas de recorte (dados de coordenadas: X1, X2, Y1 e Y2 - as coordenadas que englobam a área de estudo).

O georreferenciamento dos Planos de Informação (PI) respeitou uma margem de um erro de registro aceitável. Para isto, foram coletados 24 pontos de controle, bem distribuídos na região de estudo, por meio de um receptor GPS Garmin e-MAP. Para a marcação dos pontos de controle, utilizou-se uma carta topográfica como guia, priorizando-se locais de fácil localização, acesso e identificação, tanto na carta como na imagem de satélite (exemplos: cruzamento de estradas rurais, cruzamentos de ferrovia e estradas, entre rios e estrada, pontes e locais urbanos nas imediações).

O banco de dados criado no SPRING utilizou o sistema de coordenadas UTM, Datum SAD-69, Zona 22, longitude de origem 51° 00' 00" e, retângulo envolvente caracterizado pelas coordenadas planas: XI - 763.400 metros e YI - 7.463.900 metros (pontos inferior e

esquerdo do retângulo): X2 – 769.700 e Y2 – 7.472.900 (pontos superior e direito do retângulo), no Hemisfério Sul.



**Figura 2** - Visualização 3D em tons de cinza e sombra gerada pelo Spring 4.2.

A Declividade em porcentagem foi obtida por meio do tratamento dos dados das curvas de nível e pontos cotados (arquivos vetoriais), submetendo-os à geração de um “MNT” (Modelo Numérico do Terreno) usando como linha de quebra a rede de drenagem (representando as cotas mínimas do relevo). Para a obtenção das classes de declividade, o SPRING executa o fatiamento da matriz numérica de elevação, gravando as faixas de declividade em uma categoria “temática” de fácil visualização. Optou-se para o fatiamento em valores percentuais de declividade. É possível se visualizar o terreno em 3 dimensões e tons de cinza, conforme a Figura 2.

A segregação das três feições geomorfológicas foi obtida pelo fatiamento das cotas inferiores a 610 metros (Depressão Periférica), de 610 a 810 (*Front da Cuesta*) e acima de 810 metros (Reverso da *Cuesta*). No entanto, deve-se salientar que há uma faixa de valores de cotas que definem as três feições geomorfológicas, que variaram de 450-650 m (Depressão Periférica), 650-840 m (*Front da Cuesta*) e 790-940 m (Reverso da *Cuesta*) (ARAUJO JUNIOR, 2001). Rodrigues, Cardoso e Pollo (2015) utilizaram a cota de 920 metros para definir o limite do Reverso da *Cuesta*, não definindo, porém, uma cota para distinguir o *Front da Cuesta* da Depressão Periférica.

O Mapa de Uso e Ocupação dos Solos foi obtido pela classificação das imagens CBERS-2 “pixel a pixel” pelo método MAXVER (Máxima Verossimilhança), considerado o método de classificação mais comum desta modalidade. Este método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos em formato caixa-preta, onde o operador não tem acesso às informações matemáticas internas. Para a classificação por máxima verossimilhança é necessário que o operador

do SIG forneça uma amostra com um número razoavelmente elevado de “pixels” que contenha a informação espectral do alvo em questão (exemplo: reflorestamento, pastagem, matas, etc.), pois esta será tomada como conjunto de treinamento, que define o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando-se a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. O conjunto de treinamento foi obtido por polígonos representantes de cada classe-tema de ocupação do solo (matas, capoeira, culturas, pasto, exceto área urbana), que foram submetidas à análise pelo SPRING que apresenta relatórios de desempenho. Para melhorar desempenho, a área urbana foi eliminada das áreas a serem classificadas devido ao fato destes alvos apresentarem refletâncias que se confundem com os alvos objeto de estudo.

A Capacidade de Uso do Solo foi obtida pelo cruzamento dos planos de informação das Classes de Declividade e do Mapa de Unidades de Solos. As Classes e Subclasses de Capacidade de Uso dos Solos foram retiradas do quadro de julgamento de Piroli (2002), tendo sido escritas na linguagem LEGAL, do Spring (método booleano). O resultado do processamento foi expresso num mapa temático de Capacidade de Uso do Solo.

O Mapa Áreas de Preservação Permanente foi obtido a partir do Mapa de Distâncias baseado no plano de informação Rede de Drenagem, marcando-se a distância de 20 metros para cada borda dos rios. O mesmo procedimento foi realizado para as nascentes, considerando-se a distância de 50 metros. O passo seguinte foi obter a área de bordas (ou “buffer”), com resolução de 20 x 20 metros para posterior cruzamento e obtenção das áreas de conflitos entre o mapa de uso dos solos e as APP’s.

Para se chegar aos conflitos de uso dos solos utilizaram-se vários programas LEGAL, como (a) o programa que retratou somente as questões de ocupação dos solos e sua capacidade de uso, assim, não considerando a legislação de APP’s como conflito; (b) o programa que envolveu as questões referentes à APP’s, somando-as às áreas conflitantes e (c) o programa que mediu somente os conflitos referentes às APP’s, isto é, envolvendo somente as questões legais (legislação vigente). No primeiro caso, o programa LEGAL utilizado efetuou os cruzamentos entre as classes de solos (convertidas para suas restrições de uso) com o mapa de uso dos solos. Segue no Tabela 1 as restrições identificadas para cada classe de solo.

**Tabela 1** - Restrições de uso para cada classe de capacidade.

Classe	Restrições
III	Sem restrições
IV	Restrito a culturas
V	Restrito a culturas (inundação)
VI	Restrito a culturas e pastagens
VII	Restrito a culturas, pastagens e reflorestamento.

Numa etapa seguinte, o programa LEGAL efetuou o mesmo que o programa anterior, porém, considerando que toda área de APP representa uma área de conflito. Assim, o programa somou todas as áreas onde a APP está inadequada e contou como conflito. Já no terceiro momento, a detecção dos conflitos nas APP's foi realizada cruzando-se os dados de buffer ao mapa de ocupação dos solos. Todos os três processos resultaram em mapas de áreas de conflitos.

As operações efetuadas resultaram no cálculo de áreas, sendo que a função implementada foi a "medida de classes". Os resultados foram gravados em arquivos de texto simples (\*.TXT).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Sub-bacia do Ribeirão Descalvado possui uma área de 2.196,08 ha, com um desvio padrão de 22,21 ha, área semelhante à de 2.228,61 ha, obtida por Campos et al. (2015). O perímetro calculado foi de 23,26 km e o comprimento total da rede de drenagem é de 44,35 km, isto é, a somatória do comprimento de todos os rios pertencentes à bacia contando com 54 nascentes. A área total para a bacia hidrográfica foi calculada a partir dos mapas temáticos de resolução de 20 x 20 metros, apresentando diferenças de acordo com os mapas temáticos usados como base de cálculo.

A bacia apresentada distribui-se pelas três feições geomorfológicas da *Cuesta*, sendo que as cotas abaixo de 610 metros foram definidas (estabelecidas) como Depressão Periférica, de 610 a 810 metros como *Front* da *Cuesta* e acima de 810 metros como o Reverso da *Cuesta*. A bacia apresenta 12,90% de sua área localizada sobre o Reverso da *Cuesta*, 32,25% no *Front* da *Cuesta* e 54,85% na Depressão Periférica (Tabela 2).

**Tabela 2 - Áreas determinadas pelo Spring 4.2 para as feições geomorfológicas**

Feição Geomorfológica	Área (km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Área (%)
Reverso	2,85	284,80	12,90
<i>Front</i>	7,12	712,28	32,25

Tabela 3 evidencia que as subclasses de capacidade de uso III com restrições de solo "s" e suscetíveis à erosão "e" são predominantes em relação à subclasse de capacidade de uso III com restrição de solo "s" apenas. A suscetibilidade à erosão "e", neste caso, decorre principalmente das declividades superiores a 6%, as quais ocorrem na Depressão Periférica e no Reverso da *Cuesta*. As subclasses de capacidade de uso IV com restrição de solo "s" decorrem basicamente em função do solo (Neossolo Lítico eutrófico). A subclasse de capacidade de uso IV com restrição de solo e suscetíveis à erosão (s, e), também ocorre sobre o Neossolo Lítico eutrófico, porém, em locais onde o relevo apresenta declividades mais acentuadas (12-20%). A subclasse de capacidade de uso IV restrita à erosão "e" ocorre sobre uma pequena porção do Nitrossolo Vermelho

Depressão periférica	12,11	1211,48	54,85
Total	22,09*	2208,56*	100,00

\* A diferença de área se deve ao tipo de dado utilizado para cálculo, neste caso, *Raster*, ao passo que a área de 2.196,08 ha foi obtida por dados *Vector*, estando dentro do desvio padrão.

Partindo-se das feições geomorfológicas, existem 16 nascentes localizadas na Depressão Periférica, 8 no Reverso da *Cuesta* e 30 no *Front* da *Cuesta*. A sub-bacia do Ribeirão Descalvado possui 54 nascentes do total de 232 nascentes para a bacia do Rio Capivara obtido por Carrega (2010), que não segregou, no entanto, por feições geomorfológicas.

O relevo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado é predominantemente forte ondulado e montanhoso com variações desde o plano até o escarpado. O relevo forte ondulado (29,57%), ondulado (25,48%) e montanhoso (21,23%), representam 76,28% da sub-bacia. O relevo plano (4,43%) e suave ondulado (8,57%) constituem somente 13%, ao passo que a classe de declive escarpado representa 10,71%.

Segundo Piroli (2002), tratando-se do estudo realizado para todo o Município de Botucatu, o relevo predominante é plano a suave ondulado. Deste modo, pode-se observar que a sub-bacia do Ribeirão Descalvado difere das características gerais constatadas pelo autor.

Os resultados dos levantamentos das Classes de Capacidade de Uso do Solo na sub-bacia do Ribeirão Descalvado (

Figura 3) constata a predominância da classe de capacidade de uso IV, constituída pelas subclasses IV-s, e / IV-e. As classes III / VI apresentam grande participação, sendo que a classe III apresenta subclasse III-s, e. A classe VII está concentrada nas encostas montanhosas ao passo que a classe V se dispõe nas cotas mais baixas da bacia hidrográfica.

A

distroférico, e boa parte do Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico Órtico típico, sendo que sua restrição à erosão "e" se deve à declividade entre 12-20%, que ocorre tanto na Depressão Periférica quanto no Reverso da *Cuesta*. A subclasse de capacidade de uso V apresenta somente a restrição em relação à água (a), pois se trata de uma classe restrita à locais com excesso de água. O solo deste local é caracteristicamente um solo encharcado (Gleissolo Háprico Tb distrófico). A subclasse de uso VI com restrição à erosão "e" se deve à ocorrência de declividades acentuadas (20-40%), tratando-se de uma região localizada no *Front* da *Cuesta*. A subclasse de capacidade de uso VI ocorre sobre o Neossolo Lítico eutrófico e sua restrição à erosão "e" é

basicamente função das declividades de 40% ou maiores que ocorrem nesta região de *Front da Cuesta*.

**Tabela 3 - Áreas e percentual de ocorrência das classes de capacidade de uso do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP.**

Classes de Capacidade	Subclasse	Área em km <sup>2</sup>	Área em ha	% da subclasse por área	% da classe por área (bacia)
Classe III	III - s	1,75	175,28	31,08	26,85
	III - s,e	3,89	388,64	68,92	
Classe IV	IV - s	1,47	147,36	19,57	35,84
	IV - s,e	2,24	224,24	29,78	
	IV - e	3,81	381,28	50,64	
Classe V	V-a	1,01	101,24	100	4,82
Classe VI	VI-e	4,51	450,56	100	21,45
Classe VII	VII-e	2,32	231,92	100	11,04
Total das Classes		21,01	2100,52		100,00
Urbano		0,72	72,08		
Total		21,73	2172,60		

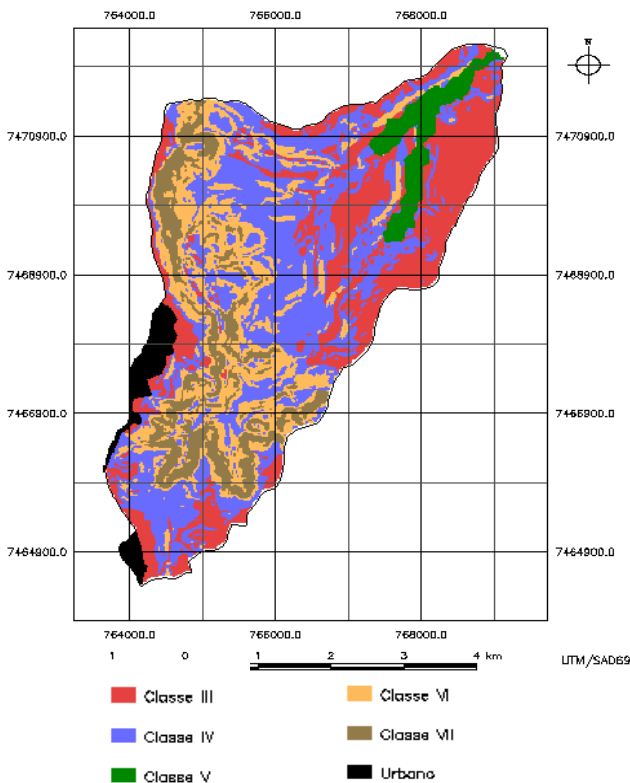
Desktop). Os resultados da classificação evidenciaram a predominância de pastos (43,99%), seguido de capoeira

(32,88%) e matas (15,48%) para a sub-bacia estudada, que possui um trecho urbano na região mais elevada (3,39%), e uma área de cultura na Depressão Periférica.

As APP's representam 12,15% da área total da sub-bacia. Verificou-se que 69,72% encontram-se em adequação, porém, deste percentual deve-se considerar que 41,38% das áreas preservadas estão ocupadas por capoeiras e 28,43% por matas. O uso inadequado está relacionado à ausência de matas e/ou capoeiras nas APP's, sendo ocupadas por pastagens em locais indevidos (30,28%).

O total de conflitos referentes ao uso do solo em local cuja classe de capacidade é incompatível representa 3,07% em relação às áreas adequadas ao uso. Considerando-se os conflitos de "uso de solo" somados aos das "áreas de preservação permanente" obteve-se 6,72% de conflitos da área total da bacia.

Na análise dos conflitos é importante discriminá-los de acordo com sua localização e percentual em relação à feição geomorfológica em que se encontra (Tabela 4), permitindo-se que sejam identificadas as áreas de maior risco e as prioridades para a tomada de medidas mitigadoras dos processos de degradação. Nota-se, na Tabela 4, que os conflitos localizados no *Front da Cuesta* são bastante pronunciados, sendo que nesta feição geomorfológica estão localizadas as classes de capacidade de uso VI e VII. Isto se deve basicamente às pastagens localizadas nas descidas das encostas mais íngremes.



**Figura 3 - Mapa de Classes de Capacidade de Uso do Solo, exceto a mancha urbana, da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP.**

A Ocupação do Solo obtida pela análise das imagens de satélite via classificação MAXVER, atingindo um desempenho geral de 99,67% (e 0,37% de confusão). De acordo com Fensterseifer e Gonçalves (2014), valores médios de classificação superiores à 98% são considerados aptos. No aspecto da qualidade da classificação, Nascimento (2016), mostrou um estudo onde o MAXVER tem desempenho superior ao do Iso Cluster (classificador encontrado no ArcGIS for

**Tabela 4 - Percentual dos conflitos do uso do solo de acordo com a feição geomorfológica.**

Áreas de conflitos por feição geomorfológica	km <sup>2</sup>	ha	% área
Depressão Periférica	0,06	6,28	9,56
<i>Front</i>	0,57	57,04	86,85
Reverso	0,02	2,36	3,59
Total	0,66	65,68	100,00

Quando as APP's são computadas, o percentual de conflito de uso aumenta consideravelmente. A Tabela 5 mostra os percentuais de conflitos em relação à feição geomorfológica.

**Tabela 5 - Percentual dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's, de acordo com a feição geomorfológica.**

Áreas de conflito por feição geomorfológica	km <sup>2</sup>	ha	% área
Depressão Periférica	0,49	48,72	33,89
<i>Front</i>	0,77	77,16	53,67
Reverso	0,18	17,88	12,44
Total	1,44	143,76	100,00

Na Depressão Periférica, locais de recarga do Aquífero Guaraní, muito embora apresente percentual de adequação alto, aparecem manchas com conflitos de uso, especialmente em relação aos conflitos pela ausência de matas ciliares. Este quadro de conflitos de uso vai ao encontro do estudo de Campos et al. (2015), que concluiu que a sub-bacia do Ribeirão Descalvado apresenta altos riscos de susceptibilidade à erosão e degradação ambiental, recomendando a cobertura por florestas e reflorestamento. Nossack et al. (2014) também concluiu a presença de processos erosivos acelerados nas nascentes, fragmentação da vegetação nas encostas, especialmente nas áreas de maior declividade.

Tomando-se a Bacia do Rio Capivara, como um todo, este mesmo panorama de fragilidade à degradação ambiental também é apresentado no estudo de Traficante (2016), que classificou como muito alta, alta e média fragilidade 90,4% da área. Apenas 9,6% possuem baixa ou muito baixa fragilidade ambiental, exatamente por apresentar cobertura vegetal.

## 4 CONCLUSÃO

O estudo realizado permitiu concluir que a sub-bacia do Ribeirão Descalvado possui uma área de 2.196,08 ha, sendo 12,90% localizadas no Reverso da *Cuesta*, 32,25% no *Front* da *Cuesta* e 54,85% na Depressão Periférica. Em termos globais, 43,99% de área total da sub-bacia é ocupada por pastagens. A capoeira consiste na segunda maior área ocupada, com 32,88% e as matas constituem

15,48%. As matas ocorrem em locais com declividade acima de 20% e predominantemente em locais com declividade de 40% ou mais.

Dentre os conflitos de solo, concluiu-se que somente 3,07% da área da sub-bacia encontra-se deteriorada, sendo os conflitos globais (incluindo as APP's) alcançam o percentual de 6,72%.

Embora o *Front* da *Cuesta* não represente a maior área total da sub-bacia, pode-se concluir-se que essa feição geomorfológica apresenta os conflitos mais problemáticos sob o ponto de vista de conservação do solo, representando 86,85% do total de conflitos de uso constatados (Tabela 4), decorridos principalmente pela presença de pastagens nestas áreas, as quais são incompatíveis com sua capacidade de uso.

Referente às APP's, embora representem 12,15% da área total da sub-bacia, 30,28% de sua área global encontra-se em situação inadequada de conservação. Deste percentual de inadequação, novamente a feição do *Front* da *Cuesta* apresenta o maior percentual de conflitos, com 53,67% do total de conflitos em APP's (Tabela 5). Assim, seja pelo mau uso do solo ou pela degradação das áreas de preservação permanente (APP), em se tratando de bacias hidrográficas localizadas nas áreas de *Cuesta*, há a necessidade de maior detalhamento referente à feição geomorfológica, pois esta estabelece parâmetros que permitem a priorização dos conflitos a serem mitigados.

A sub-bacia do Ribeirão Descalvado apresentou, de modo geral, baixo índice de degradação considerando-se os resultados globais das análises (6,72% de conflitos de solo e inadequação de APP's). No entanto, quando analisadas as três feições geomorfológicas em separado, notou-se que nas áreas mais planas, por apresentarem uma larga gama de usos, não ocorreram problemas quanto à sua utilização. Já nas áreas mais íngremes, mas frágeis e propensas a erosão acelerada, o percentual de área com inadequação de uso foi consideravelmente maior. Estas áreas necessitam de maior atenção e prioridade no manejo correto do solo e na preservação das matas nativas, visto que, na maior parte das vezes, a capacidade de uso adequado para a área é bastante restrita.

Assim, pode-se concluir que a segregação das feições geomorfológicas em estudos de degradação ambiental de bacias hidrográficas localizadas nas *Cuestas* Basálticas do Estado de São Paulo é uma abordagem relevante e recomendada para estudos futuros, podendo revelar aspectos ocultos dos níveis de degradação da feição mais frágil, que é o *Front* da *Cuesta*.

## 5 REFERÊNCIAS

ARAUJO JUNIOR, A. A. **Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do Rio Capivara – Botucatu (SP), visando a ocupação racional do solo.** 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na

Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAMPOS, S. **Fotointerpretação da ocupação do solo e suas influências sobre a rede de drenagem da bacia do rio Capivara (SP), no período de 1962 – 1977.** 1993. 164 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista - SP, 1993.

CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; RECHE, A. M.; CAMPOS, M. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Descalvado – Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, ed. esp., p. 52-65, 2015.

CARREGA, E. F. B. **Diagnóstico integrado de síntese da Bacia do Rio Capivara, Botucatu (SP).** 2010. 269 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) -Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

CARVALHO, A. A. A. A.; GREGÓRIO, L. S.; FERREIRA, M. R. F.; COUTO, R. S.; CASTRO, W. O.; ALVES, W. F.; COSTA, G. O. A. P.; BRITES, R. S.; BIAS, E. S. Análise de classificação de imagem Rapideye por meio dos softwares INTERIMAGE e SPRING. 2014, CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26., Gramado, 2014. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2014. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/anais.html>. Acesso em: 29 out. 2017.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher; EDUSP, 1974. 149 p.

ENGEA. Departamento de Estudos Patrimoniais, Ambientais e Técnicos. **Projeto:** levantamento e análise dos quadros ambientais e proposição físico territoriais de zoneamento ambiental para APA Corumbataí – Botucatu – Tejuapá, perímetro Botucatu. Botucatu: APA, 1990. v. 2.

FENSTERSEIFER, S. L. B.; GONÇALVES, I. H. P. Mapeamento de áreas de preservação permanente no município de Itaara – RS pelo Spring 5.1.6. **Geografia**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 5–19, 2014.

JIM, J. **Aspectos ecológicos dos anfíbios registrados na região de Botucatu, São Paulo (Amphibia, Anura).** 1980, 332 p. Tese (Doutorado em Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

MARTINS, D. Clima da região de Botucatu. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE A AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU, 1., 1989, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1989. p. 8-19.

NASCIMENTO, I. S.; CRUZ, C. B. M.; NEVES, S. M. A. S.; GALVANIN, E. A. S. Avaliação da exatidão dos

classificadores MAXVER e ISO cluster do software Arcgis for desktop com uso de imagem Landsat 8 do Município de Cáceres/MT. **Revista Continentes**, Rio de Janeiro, n. 8, p. 48-62, jan. 2016. Disponível em: <http://www.revistacontinentes.com.br/continentes/index.php/continentes/article/view/95>>. Acesso em: 29 out. 2017.

NOSSACK, F. A.; ZIMBACK, C. R. L.; SILVA, R. F. B.; SARTORI, A. A. C. Application of multicriteria analysis to define priority areas for forest recovery. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 612–625, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/86147>>. Acesso em: 29 out. 2017.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu-SP.** 2002. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de cenário prospectivo de mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Capivara, Botucatu - SP, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 14, n. 2, p.03-29, 23 dez. 2016. Disponível em: <http://www.periodicos.unimontes.br/cerrados/article/view/269>>. Acesso em: 29 out. 2017.

REIS FILHO, A. A.; MOURA, A. C. M. Contribuição do geoprocessamento para o estatuto da cidade como ferramenta para o planejamento e gestão urbana. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN URBANISMO, 4., 2014, Bogota. **Anais...** Barcelona: Ed. Universitat Politècnica de Catalunya, 2014. n. 1, p. 17. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2099/15964>>. Acesso em: 29 out. 2017.

RODRIGUES, V. A.; CARDOSO, L. G.; POLLO, R. A. Caracterização morfológica de microbacia na *Cuesta* de Botucatu - São Paulo - Brasil. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 211-220, 2015.

SOUZA, M. A. P. **Importância do geoprocessamento no diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos.** 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento Ambiental) - Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2017. Disponível em: <http://ri.ucs.br:8080/jspui/handle/prefix/357>>. Acesso em: 29 out. 2017.

TRAFICANTE, D. P. **Fragilidade ambiental da APA Corumbataí-Botucatu-Tejuapá (perímetro Botucatu, SP, Brasil) na bacia hidrográfica do Rio Capivara.** 2016. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.