

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N<sup>o</sup> 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 313-326  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **CARTOGRAFIA GEOAMBIENTAL COMO BASE PARA PLANEJAMENTO TERRITORIAL NA BACIA DO RIO CLARINHO, SP**

*Geoenvironmental Mapping Basis to Territorial Planning in  
Clarinho River Watershed, SP*

**João Vitor Roque Guerrero<sup>1</sup>, José Augusto de Lollo<sup>2</sup> & Reinaldo Lorandi<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos – UFSCar  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

Rodovia Washington Luís, km 235 - SP-310 CEP 13565-905 - São Carlos - São Paulo - Brasil  
joaovitorguerrero@yahoo.com.br, lorandir@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

Avenida Brasil, 56 Bairro: Centro CEP: 15385-000 - Ilha Solteira - São Paulo - Brasil  
ja\_lollo@yahoo.com

*Recebido em 11 de Abril, 2015/ Aceito em 21 de Novembro, 2015  
Received on April 11, 2015/ Accepted on November 21, 2015*

### **RESUMO**

A desconsideração dos condicionantes naturais é uma das falhas fundamentais do processo de planejamento territorial em bacias hidrográficas. Os processos de degradação ambiental, em particular a erosão e perda de qualidade dos recursos hídricos, são os impactos mais marcantes que decorrem dessa situação. No caso particular da bacia do rio Clarinho (SP) intensos processos erosivos se instalaram como consequência disso. O trabalho apresenta os resultados da cartografia geoambiental analítica da bacia, processo que permitiu a identificação dos condicionantes naturais na área e a identificação de potencialidades e limitações das unidades geoambientais presentes. A partir desse conhecimento, são apresentadas propostas para estudos futuros e intervenções adequadas à melhoria da qualidade ambiental na bacia.

**Palavras-chave:** Cartografia Geoambiental, Planejamento Territorial, SIG.

### **ABSTRACT**

Natural attributes inconsideration is one of the most important fails in territorial planning process in watersheds. In consequence, environmental degradation (erosion processes and water quality harms) can occur. In Clarinho river (SP, Brazil) watershed severe erosive process arise due to this slight. The article shows the results of geo-environmental analytic cartography in the watershed, allowing us to identify natural environmental attributes responsible by damage process and establish potentialities and constrains for the geo-environmental units determined. Taking in account its knowledge, it was possible propose alternatives for future detailed studies and proper instrumentation for improve Clarinho watershed environmental quality.

**Keywords:** Geo-environmental Cartography, Territorial Planning, GIS.

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas e pastoris intensivas e a expansão urbana acelerada têm resultado danos à qualidade ambiental em muitas bacias hidrográficas por todo o mundo (GUPTA & AHMAD, 1996).

Nos ambientes tropicais úmidos, a intensidade dos processos hidrológicos e atmosféricos induz processos geodinâmicos superficiais mais intensos, especialmente erosão (HE *et al.*, 2006).

Tal desequilíbrio altera as condições naturais, resultando sérios problemas como perda de áreas agricultáveis, exposição do substrato rochoso, assoreamento de rios e reservatórios, além de prejuízos financeiros.

A quantificação de tais danos em perda de solos, prejuízos ambientais e perdas financeiras no Brasil foram bem caracterizados por Pimentel (2006), Spavorek *et al.* (2007), Chaves (2008), Telles e Guimarães (2009), Castro e Queiroz Neto (2010), e Silva *et al.* (2011).

Aos condicionantes naturais desfavoráveis, somam-se muitas vezes a ineficiência das políticas de Estado e o despreparo técnico dos profissionais responsáveis pela tomada de decisão (MENDE & ASTORGA, 2007).

Mesmo que a influência dos atributos naturais nos processos de degradação seja conhecida do meio técnico, as condições predisponentes e os mecanismos de ativação dos processos se apresentam com diferentes combinações em cada área estudada, em particular no que diz respeito às atividades humanas (SILVEIRA & PEJON, 2007).

Assim, o planejamento territorial se faz fundamental como alternativa para o potencial ambiental local com a demanda pelos recursos naturais (BOCCO *et al.*, 2001).

Os trabalhos que contemplam o planejamento e o ordenamento territorial, em geral, buscam prevenir os impactos negativos decorrentes das ações humanas sobre os recursos naturais (SOUZA *et al.*, 2005), tendo como exemplos práticos os trabalhos de Freitas *et al.* (2015) Waele *et al.* (2004), Dai *et al.* (2001), e Sharma e Phanikumar (2006).

Assim, trabalhos que caracterizem as condições naturais de bacias hidrográficas,

deveriam resultar zoneamentos ambientais que permitissem avaliar as potencialidades e as limitações do meio com relação às atividades humanas previstas ou existentes.

Infelizmente, tais trabalhos na maioria dos casos se limitam a simples inventários ou compilações de informações e documentos, descrevendo as condições naturais sem considerar a dinâmica que a interação entre eles representa.

A Cartografia Geoambiental nos moldes originalmente propostos por Cendrero (1975; 1980), posteriormente adaptado às condições brasileiras por Pejon e Zuquette (1993), Zuquette e Gandolfi (2004) e detalhado por Rovani e Cassol (2012), reúne os requisitos necessários para permitir um zoneamento ambiental que, além de representar as condições naturais e as intervenções humanas, permite estabelecer as relações entre os componentes ambientais e prover análises e proposições para atuar de forma efetiva na melhoria da qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica.

Considerando tal base de conhecimento e a existência na bacia do rio Clarinho de condições favoráveis à geração de processos de degradação ambiental (inclusive áreas significativas com processos erosivos acelerados na área), foi proposto o presente trabalho, que teve como objetivo reunir, representar e entender as relações dos componentes ambientais na bacia de forma a apresentar propostas para aprofundamento dos estudos e para intervenção, visando reduzir os impactos existentes e evitar o aparecimento de novos processos de degradação.

Vale ressaltar que a região apresenta perfis de solos bastante favoráveis ao aparecimento de processos erosivos, porém tem sido alvo de poucos estudos técnicos visando entender e controlar tais processos.

Observa-se que o Plano Diretor do município de Santa Rita do Passa Quatro, onde se localiza a bacia do rio Clarinho, não contempla o zoneamento ambiental desta e das demais áreas rurais do município (PMSRPQ, 2006).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta quais foram os materiais utilizados no trabalho e os métodos aplicados para o mapeamento geoambiental.

## 2.1 Material Cartográfico Básico

Os dados utilizados na caracterização do meio físico e a fonte dos mesmos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Materiais usados e fontes de dados

Materiais	Órgão fornecedor
Carta topográfica – Folha de Santa Rita do Passa-Quatro 1:50000	IBGE (1970)
Mapa Geológico	IG (1981)
Fotografias Aéreas (1:60.000)	USAF (1969)
Imagens de satélite Instrumento OLI (Operational land Imager)	Missão Landsat 8 (2014)

A inclusão e tratamento dos dados no banco de dados geográficos foi realizada no Spring 5.2 (CAMARA *et al.*, 1996) e o layout ArcGis 10.2® (ESRI, 2010).

Foi utilizado o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) Zona 23S, Datum horizontal SIRGAS 2000 e datum vertical marégrafo de Imbituba.

Para classificação de uso do solo foram usadas imagens do satélite Landsat 8 do sensor OLI, com 30m de resolução espacial, as quais podem ser obtidas do sítio Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

A imagem pancromática do sensor TIRS, com resolução espacial de 15m, foi usada num processo de fusão com as bandas multiespectrais de forma a gerar um produto sintético com resolução de 15m.

## 2.2 Material Cartográfico Produzido

Os materiais cartográficos são a base para as análises deste estudo. Este item mostra a partir de quais materiais cada mapa/carta foi produzido e suas aplicações.

### 2.2.1 Carta de declividades

A carta de declividades foi produzida a partir do tratamento de um modelo numérico de terreno gerado a partir das curvas de nível da base cartográfica digital.

Na primeira etapa foi gerada uma grade triangular a partir das curvas de nível, de forma a se obter uma representação mais realista da superfície local.

Na etapa seguinte, a grade triangular foi usada para a geração de uma grade retangular, mais adequada à álgebra de mapas em etapas posteriores do trabalho.

Os valores de declividade foram classificados em três classes (< 5%, 5-10%, e > 10%). Tais classes foram adotadas por serem adequadas à representação do relevo local e porque são as classes sugeridas por Zuquette (1987) para a depressão periférica da Bacia do Paraná.

### 2.2.2 Mapa de restrições à ocupação

O mapa de restrições à ocupação foi gerado com o intuito de demonstrar as regiões da área de estudo que são impróprias para a ocupação humana, de acordo com a legislação vigente. Sua metodologia foi baseada na proposta de Faleiros (2012).

A definição das áreas foi obtida por meio de “buffers” de elementos da base cartográfica digital do projeto, usando os cursos d’água e as nascentes existentes na área.

As áreas de topos de morro e de recarga de aquífero foram identificadas na mesma base digital e no mapa geológico.

A Tabela 2 indica os critérios de definição das áreas e a fonte da legislação.

### 2.2.3 Mapa do Substrato Rochoso

O mapa de substrato rochoso foi gerado a partir do Mapa Geológico na escala 1:50.000

Tabela 2: Dados utilizados para o mapa de restrições à ocupação

Área de ocupação restringida	Lei	Critério de Restrição
Áreas marginais à rios de até 10 m de largura	12.651/12	30 metros
Áreas de nascentes	12.651/12	50 metros
Topo de morros	12.651/12	Delimitação a partir da base cartográfica
Áreas com potencial de recarga de aquíferos profundos	SP 32.955/91	Delimitação a partir do mapa geológico

Fonte: Faleiros (2012).

provindo do Instituto Geológico. A folha utilizada foi a de Santa Rita do Passa Quatro SF-23-V-C-V-I (IG, 1981).

#### 2.2.4 Mapa de Formas de Relevo

O mapa de Formas de Relevo foi produzido segundo metodologia de Lollo (1995), e incluiu a fotointerpretação das fotografias aéreas em escala 1:60.000 (USAF, 1969) e posterior digitalização sobre a base cartográfica do IBGE dos limites das formas de relevo reconhecidas.

#### 2.2.4 Carta de potencial de escoamento superficial

A carta de potencial de escoamento superficial foi gerada a partir da adaptação da metodologia proposta por Pejon e Zuquette (1993), sendo usados os atributos declividade, litologia do substrato rochoso, permeabilidade, textura, gênese e espessura dos materiais inconsolidados.

Os mapas básicos para a realização desta carta foram provenientes do tratamento e análise do mapa geológico, da carta de declividades e do mapa de materiais inconsolidados produzido a partir de trabalhos de campo e ensaios de laboratório.

#### 2.2.5 Carta de uso e ocupação do solo

Para a carta de uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 do ano de 2014, as quais foram classificadas a partir de uma composição RGB com as bandas 432.

A imagem sintética foi classificada via classificação supervisionada com o algoritmo de máxima verossimilhança, considerando as seguintes classes de uso: urbano, água, mata, agrícola, solo exposto, campo/pastagem.

#### 2.2.6 Mapa de Materiais Inconsolidados

O mapa de materiais inconsolidados da bacia do Rio Clarinho foi gerado a partir de trabalhos de campo na área e da realização de ensaios de caracterização dos solos.

Nestes trabalhos de campo foram visitados cortes e afloramentos e coletadas amostras de solos, principalmente em cortes de estradas e rodovias.

Foram realizados ensaios para obtenção da umidade de campo, da massa específica do solo, massa específica dos sólidos, granulometria conjunta, e compactação Mini-MCV.

A partir dos resultados dos ensaios os materiais inconsolidados foram classificados e foi possível a interpretação de seu comportamento.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A Bacia Hidrográfica do Rio Clarinho se localiza na região Nordeste do Estado de São Paulo (Figura 1) e dista cerca de 260 km da capital. A bacia encontra-se dentro do município de Santa Rita do Passa Quatro, que, segundo o censo de 2010, tem população total de 26.410 habitantes e densidade demográfica de 34,72 hab/km<sup>2</sup>.

Lorandi *et al.* (2014) descrevem na bacia do rio Clarinho a ocorrência dos seguintes aquíferos: Guarani, Santa Rita do Passa Quatro e Quaternário (aquíferos sedimentares), e Intrusivas Básicas (aquífero fraturado).

O clima da região estudada é do tipo mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, com nítida distinção entre a estação seca (maio a setembro) e a chuvosa (outubro a abril).

Quanto à vegetação, a área que era florestada e apresentava também vegetação nativa deu lugar a diferentes tipos de cultura, principalmente cana-de-açúcar. Ocorrem áreas de silvicultura, pastagens e campos.

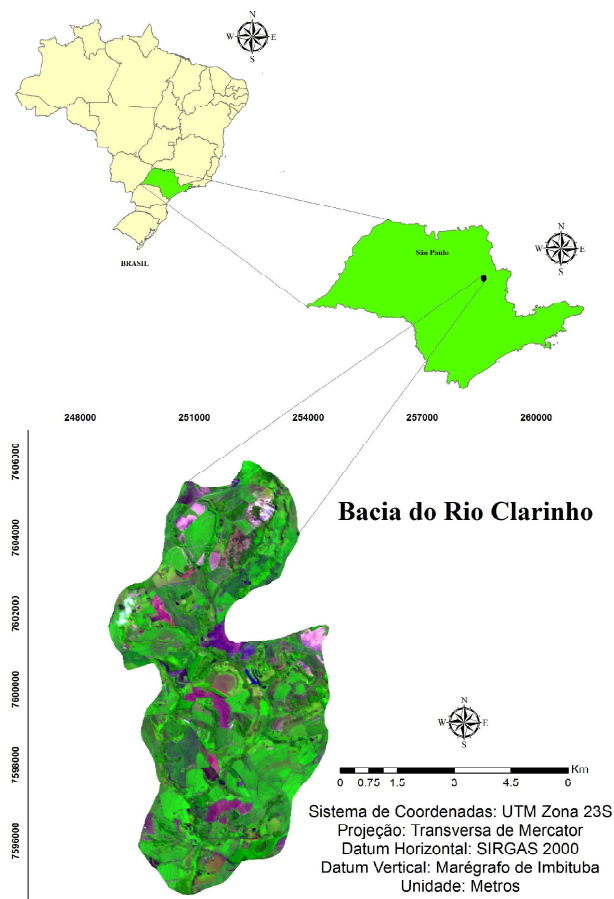


Fig. 1 - Mapa de localização.

Segundo Ross e Moroz (1985), a Bacia Hidrográfica do rio Clarinho se encontra na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná.

A unidade morfoescultural Patamares Estruturais de Ribeirão Preto é composta por colinas amplas e baixas, com topos tabulares e os vales apresentam entalhamento médio. As altimetrias desta unidade estão entre 500 e 700 metros e as declividades médias variam entre 2% e 10%. A litologia predominante desta unidade é basalto e os solos são do tipo latossolo roxo e terra roxa estruturada.

A unidade Depressão de Moji-Guaçu é constituída por colinas de topos tabulares amplos, com vales entalhados, altimetrias entre 500 e 650 metros, e declividades entre 5% e 10%. As litologias comuns são arenitos finos, argilitos, siltitos, calcários e folhelhos.

Segundo IG (1981) a área estudada situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta as seguintes formações geológicas: Pirambóia, Botucatu, Santa Rita do Passa Quatro, Intrusivas básicas e Depósitos recentes.

### 3. RESULTADOS

Os mapas apresentados a seguir foram originalmente produzidos na escala 1:50.000 e as figuras 2 a 9 tiveram sua escala adequada às normas do periódico.

#### 3.1 Carta de declividades

A declividade dos terrenos é atributo de grande importância em estudos abordando potencialidades e restrições ao uso do solo, já que o relevo pode ser o principal obstáculo para a implantação de um empreendimento.

A carta de declividades da Bacia do Rio Clarinho (Figura 2) apresenta três classes de acordo com a metodologia analisada, sendo elas < 5%, 5 - 10 % e > 10%. A maior parte da bacia apresenta declividades maiores que 5%.

#### 3.2 Mapa de restrições à ocupação

O mapa de restrições à ocupação ilustra as áreas mais frágeis à interferência humana (APP's, Áreas de Recarga e Áreas de topos de colinas) indicando que 30% da bacia é imprópria ao uso antrópico (Figura 3). As áreas de cada uma dessas classes são apresentadas na Tabela 3.

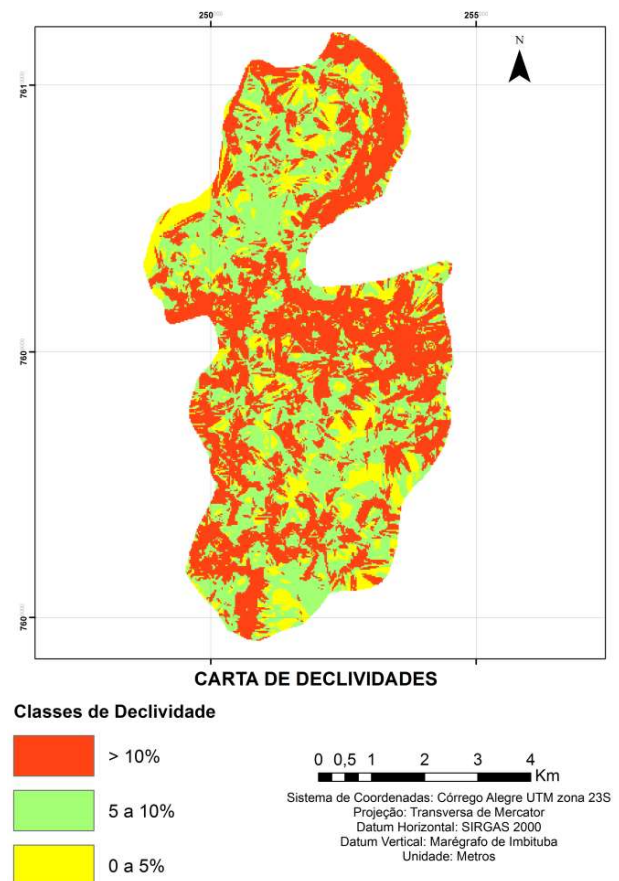


Fig. 2 - Carta de Declividades.

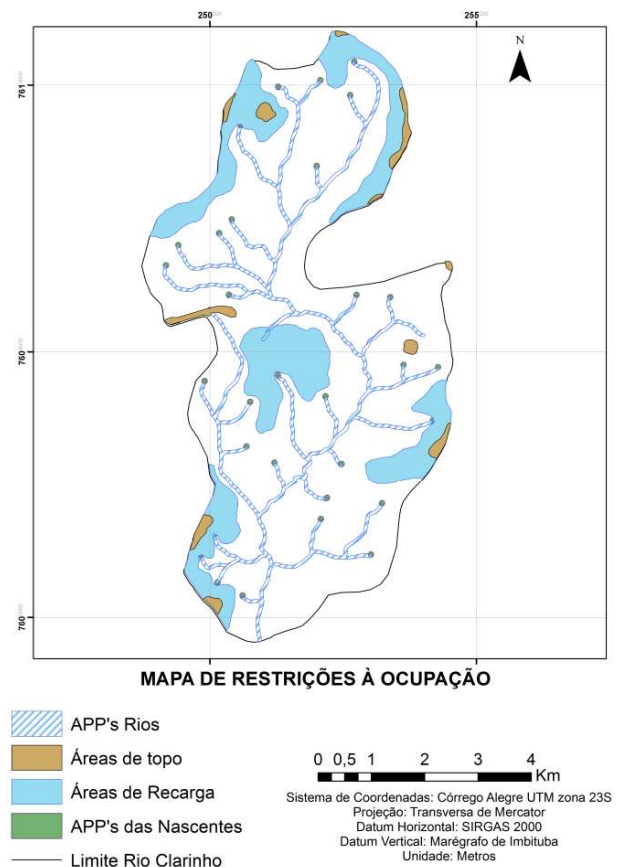


Fig. 3 - Mapa de Restrições à Ocupação.

Tabela 3: Áreas de preservação permanente

Áreas de Preservação Permanente	Área (km <sup>2</sup> )
Rios com até 10m	3,1
Áreas de Topo	0,68
Áreas com potencial de recarga de aquífero profundo	8,16
Áreas de nascentes	0,32
Total de Apps	12,26

### 3.3 Mapa de Substrato Rochoso

O mapa de substrato rochoso (Figura 4) possibilitou a identificação de três formações geológicas presentes na área: Formação Pirambóia, Formação Botucatu e rochas intrusivas básicas.

#### 3.3.1 Formação Pirambóia (Trp)

Na área essa unidade é representada por arenitos de coloração variada, com granulometria muito fina a média, com ocorrência ocasional de clastos grosseiros, com grãos subarredondados e intercalações de siltitos e argilitos. Mais raramente, observam-se ainda arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo argila, com matriz areno-argilosa.

#### 3.3.2 Formação Botucatu (Jkb)

É constituída por arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados, muito finos a médios, regularmente a bem classificados, friáveis a bem silicificados, com grãos arredondados e foscos, apresentando na base corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados. Apresenta espessura bastante variável, mas raramente ultrapassa os 150m, sendo o valor médio da ordem de 50 a 70m.

#### 3.3.3 Intrusivas Básicas (V)

Essa formação compreende o conjunto de derrames de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica e de cor cinza escura a preta e intrusivas associadas, contendo intercalações de lentes e camadas arenosas de textura fina a média com estratificação cruzada.

### 3.4 Mapa de Formas de Relevo

A partir da aplicação da técnica de avaliação do terreno na área, foram reconhecidos dois sistemas de terreno e nestes foram identificadas cinco unidades de terreno (Figura 5).

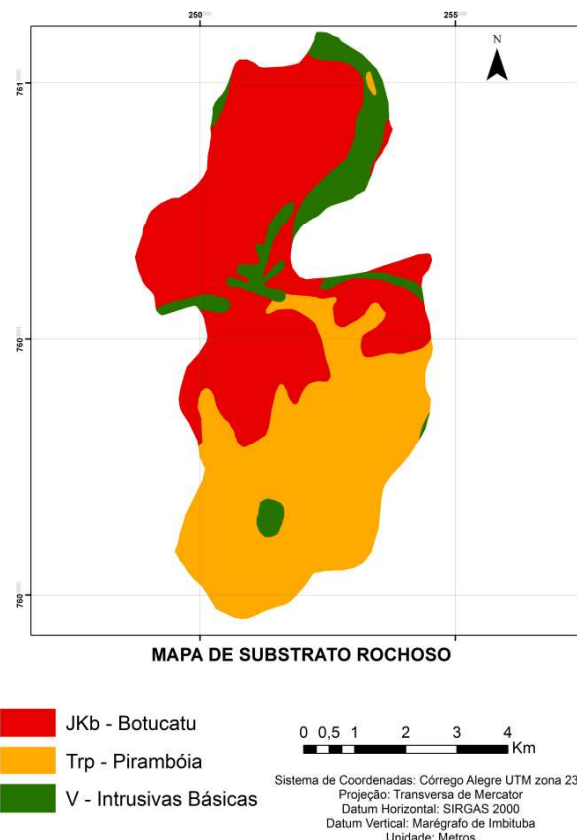


Fig. 4 - Mapa de Substrato Rochoso.

Os sistemas de terreno identificados na bacia do Rio Clarinho foram:

- Sistema A: Relevo movimentado composto por morrotes médios e pequenos alongados e alinhados, com topos angulosos associados a vales pequenos profundos e fechados com frequência alta a muito alta de canais. As declividades são altas (quase sempre superiores a 15%) e o substrato rochoso é representado por intrusivas básicas (diabásios) e, excepcionalmente, arenitos silicificados da formação Botucatu.
- Sistema B: relevo dissecado composto por colinas pequenas a médias, com vales pequenos e fechados, frequência de canais média a alta com padrão dendrítico evoluindo para retangular nas porções mais rebaixadas do relevo. As declividades são variadas, porém predominantemente médias a baixas (menores que 15%). O substrato rochoso é constituído pelos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia.

As unidades de terreno da área são divididas entre provenientes do sistema A e provenientes do sistema B.

Unidades de terreno do sistema A:

- Unidade A1 (Platô): morrotes pequenos a médios alongados e alinhados em áreas com

declividades médias a altas, com frequência de canais baixa a muito baixa.

- Unidade A2 (Escarpas): constituída por escarpas com declividades geralmente superiores a 20%, com alta densidade de canais alinhados. Unidades de terreno do sistema B:

- Unidade B1 (Encostas convexas): essa unidade é composta por encostas convexas de colinas pequenas a médias, com média densidade de canais, declividades predominantes de até 10%, com as menores declividades nas porções superiores das encostas, e aumento de declividade em direção à base da encosta. As porções superiores destas encostas representam topos do relevo local e constituem-se em áreas de recarga para os sistemas aquíferos na bacia.

- Unidade B2 (Encostas côncavas): encostas côncavas de colinas médias, com baixa densidade de canais, declividades até 10% na porção superior da encosta e menores que 5% em sua base.

- Unidade B3 (vales): vales pequenos, mais fechados nas regiões de nascentes e abertos no baixo curso dos canais de drenagem. As declividades são predominantemente inferiores a 5%, com ocorrências de declividades menores que 2% no baixo curso, onde existem depósitos aluviais expressivos.

### 3.5 Carta de uso do solo

Na Carta de uso do solo (Figura 6) se observa que o principal uso identificado foi o da cana-de-açúcar, com aproximadamente 63% da área, seguido por solo exposto (12%), mata (11,35%), campo / pastagem (10%), uso urbano (2%).

Chama a atenção a grande quantidade de solo exposto na área (12% do total da bacia) que, aliada às altas declividades da região podem gerar (e em alguns locais já geram) grandes processos de erosão. Cabe ressaltar que a classe de solo exposto da área é composta por solos sem cultivo agrícola e processos erosivos já consolidados (norte da área).

Não há nenhuma cidade dentro da bacia, porém como pode ser notado na carta, existem pontos classificados como áreas urbanas (2% do total). Isto ocorre por que existem pequenas construções, tais como casas, casebres e granjas. Há também regiões em que o classificador automático mesmo que de forma supervisionada caracteriza como urbanas, porém são áreas muito pequenas e estatisticamente insignificantes.

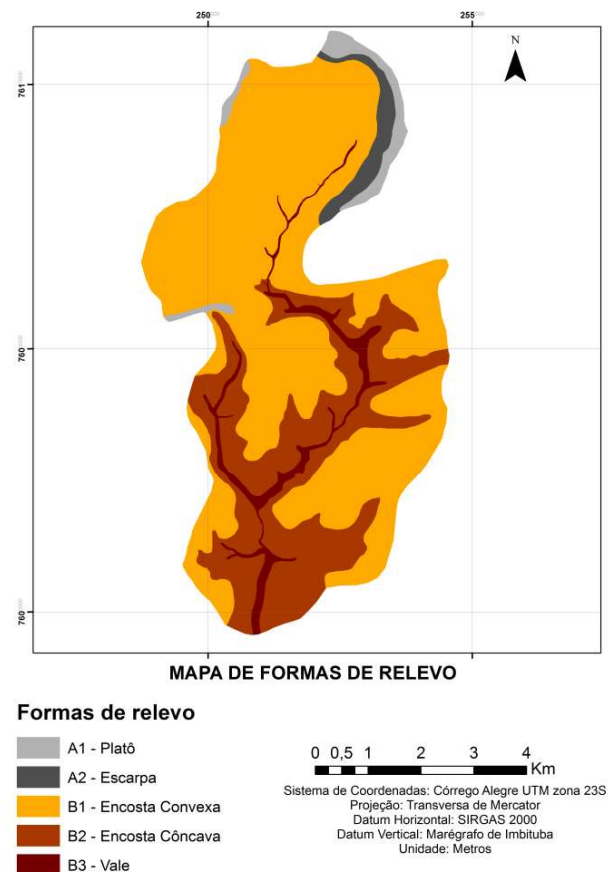


Fig. 5 - Mapa de Formas de Relevo.

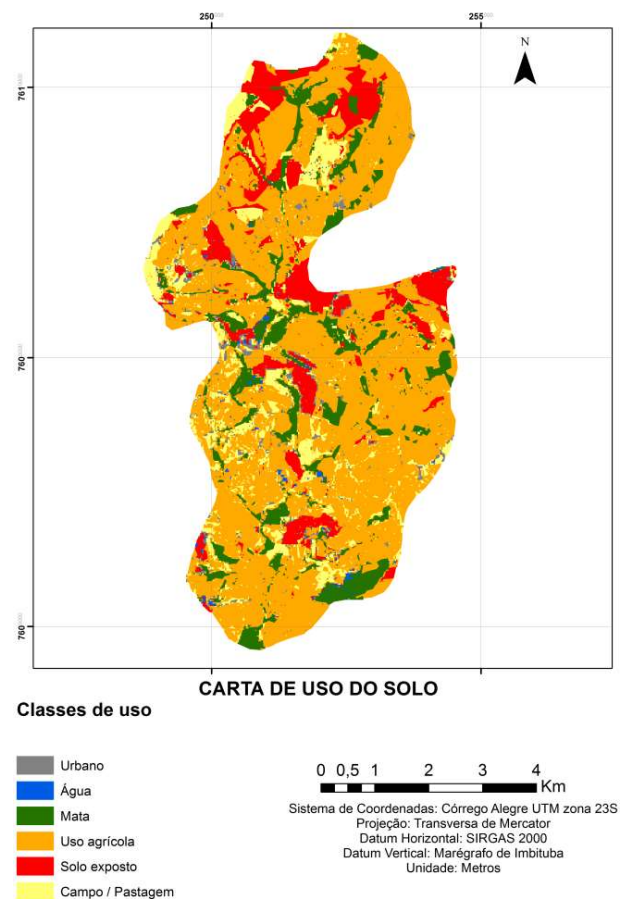


Fig. 6 - Carta de Uso do Solo.

As áreas classificadas como água representam pequenas represas ao longo do Rio Clarinho e seus afluentes (0,75% da área). O rio Clarinho em si não aparece na classificação, pois sua espessura não é suficiente para que ele apareça na imagem de satélite adquirida.

As áreas classificadas como campo / pastagem representam 10,10 % da área total da bacia. Essas unidades foram classificadas juntas, pois foi avaliado que com a resolução de pixel da imagem utilizada não é possível separá-las. É válido lembrar também que o software tem dificuldades em diferenciar os campos e pastagens das áreas agrícolas, já que todos estes apresentam uma resposta espectral parecida. Sendo assim, foi necessário editar manualmente as áreas de campo / pastagem a partir de uma análise visual da imagem e dos trabalhos de campo realizados na área.

Por fim, verificou-se 11,35% da área recoberta por mata, principalmente nas regiões próximas às escarpas e em áreas de mata ciliar.

### 3.6 Mapa de Materiais Inconsolidados

O mapa de materiais inconsolidados (Figura 7) foi gerado a partir de trabalhos de campo, análises laboratoriais e do mapa básico de substrato rochoso.

Foram identificados e caracterizados cinco diferentes materiais inconsolidados: arenosos residuais da formação Botucatu, argilosos residuais das rochas intrusivas básicas, sedimentos arenosos do quaternário, arenosos da formação Pirambóia e arenosos retrabalhados da Formação Santa Rita do Passa Quatro.

#### 3.6.1 Quaternário

São sedimentos depositados ao longo das drenagens, principalmente próximo ao exutório da bacia (sul da área) e é considerado um material inconsolidado retrabalhado principalmente a partir da Formação Pirambóia.

A massa específica dos sólidos encontrada da área foi de 2,66 g/cm<sup>3</sup> e sua classificação MCT foi NA, ou seja, é composta por areias, siltes e misturas de areias e siltes, sendo os grãos constituídos por quartzo e / ou mica.

Os solos desta unidade estão no limite de aplicabilidade do ensaio de MCT, pois sua textura não permite que este fique compactado no cilindro (GALIANO, 2001).

Sua textura é predominantemente arenosa, contendo 91% de areia, 4% de silte e 5% de argila.

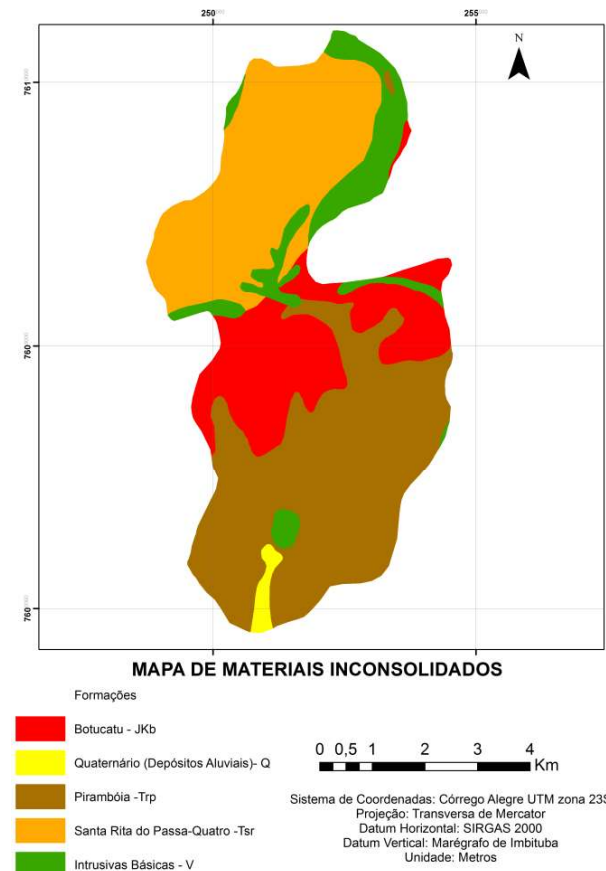


Fig. 7 - Mapa de Materiais Inconsolidados.

#### 3.6.2 Unidade Botucatu

Presente principalmente na área central da bacia, os materiais inconsolidados residuais de Botucatu estendem-se principalmente ao longo das encostas côncavas e convexas.

Sua massa específica dos sólidos média é de 2,65 g/cm<sup>3</sup> e sua textura predominante é a arenosa, contendo de 65 % a 85% de areia.

De acordo com o ensaio MCT, esta unidade é classificada predominantemente por LA (areias com poucos finos de comportamento laterítico), NS<sup>2</sup> (solos saprolíticos silto-arenosos peculiares, resultantes do intemperismo tropical nas rochas eruptivas) e LG<sup>2</sup> (argilas arenosas que compõem principalmente o horizonte B dos solos).

#### 3.6.3 Unidade Magmatitos (V)

Estes solos derivados das rochas intrusivas básicas puderam ser reconhecidos ao longo das escarpas a nordeste da área, em platôs na região centro-oeste e nas encostas côncavas e convexas,



principalmente em topos de morros.

Na área são solos predominantemente argilosos e areno-argilosos em alguns pontos. As massas específicas identificadas variaram entre  $2,72 \text{ g/cm}^3$  e  $2,75 \text{ g/cm}^3$ .

As amostras desta unidade foram classificadas como LG' (argilas e argilo-arenosas) segundo a classificação MCT. Em termos pedológicos, representam latossolos, solos podzólicos ou terras roxas estruturadas.

Quando as unidades deste grupo possuem porcentagem relativamente elevada de grãos de areia apresentam propriedades similares à classe LA', e é o que ocorre nas amostras localizadas no centro da bacia.

### 3.6.4 Unidade Pirambóia

Tal unidade foi identificada na área sul da bacia, representada geomorfologicamente pelas unidades das encostas convexas e algumas áreas de vale.

As diferentes amostras ao longo da bacia tiveram diferentes classificações MCT, desde LA (areias com poucos finos de comportamento laterítico), passando por LA' (materiais arenosos constituintes dos horizontes B dos solos) até NA' (misturas de areias quartzosas com materiais finos, com comportamento não laterítico).

Predominantemente, apresentam textura arenosa, com massa específica dos sólidos que variam de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  a  $2,68 \text{ g/cm}^3$ .

### 3.6.5 Unidade Santa Rita do Passa Quatro

Os materiais inconsolidados retrabalhados da Formação Santa Rita do Passa Quatro estão localizados na área noroeste da bacia, concomitantes às encostas convexas presentes no local.

Foram obtidas duas amostras desta unidade. Uma delas apresentou massa específica de  $2,64 \text{ g/cm}^3$ , textura arenosa (mais de 90% de areia) e classificação MCT NA.

A outra resultou massa específica dos sólidos de  $2,68 \text{ g/cm}^3$ , textura média (25% de areia, 30% de silte e 45 % de argila).

A classificação MCT da segunda amostra foi NA', condizente com o ensaio de granulometria, já que este consiste na mistura entre areias quartzosas e materiais finos que passam na peneira 0,075mm, com comportamento não laterítico.

## 3.7 Carta de potencial de escoamento superficial

A carta de escoamento superficial (Figura 8) mostra que a maior parte da bacia do Rio Clarinho encontra-se dentro do potencial de escoamento de 1 a 5, indicando escoamento superficial de baixo a médio. O escoamento só é alto na área de escarpa e de topo de morro, onde a declividade é maior.

Nota-se também que a região onde está localizada a unidade geológica denominada intrusivas básicas apresenta também altos valores de potencial de escoamento, já que esta formação dificulta a infiltração.

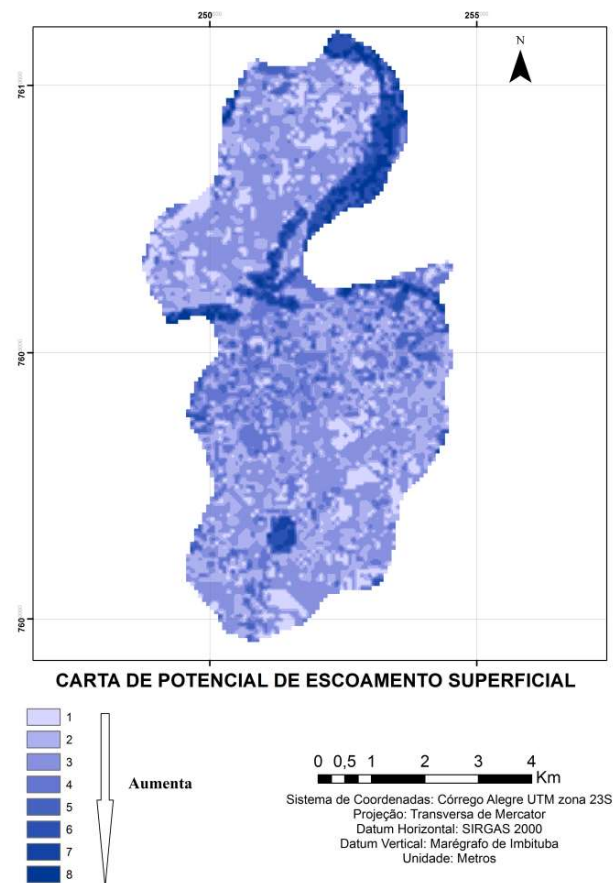


Fig. 8 - Carta de Potencial de Escoamento Superficial.

## 3.8 Carta de Zoneamento Geoambiental

De acordo com a metodologia proposta, a carta de zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Clarinho (Figura 9) é baseada no mapa de Formas de Relevo, analisando o proposto de que as formas de relevo são unidades de compartimentação homogêneas que permitem análises sobre o meio físico local, além da indicação de limitações e potencialidades locais de acordo com suas características.

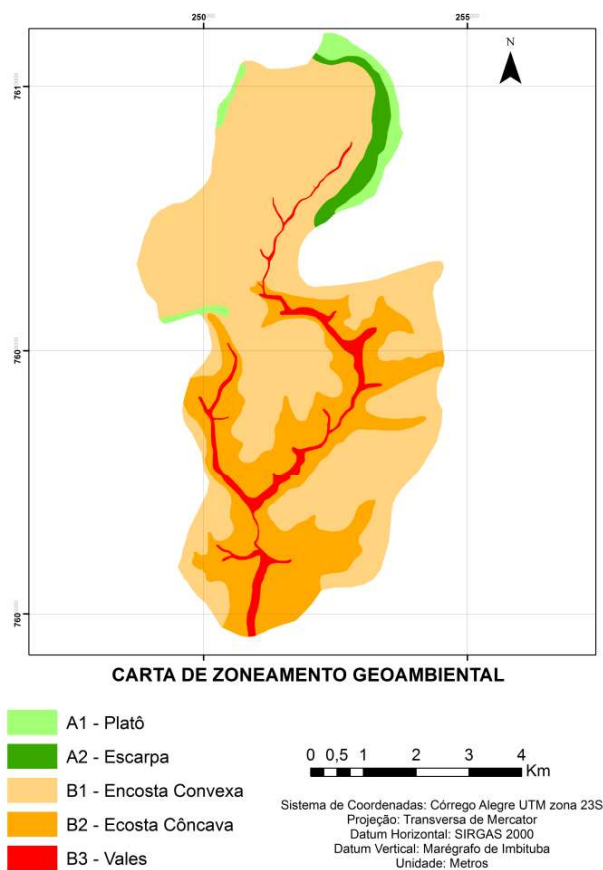


Fig. 9 - Carta de Zoneamento Geombiental.

## 4. UNIDADES GEOAMBIENTAIS

A carta de zoneamento geoambiental definiu unidades homogêneas de acordo com seus aspectos do meio físico e uso do solo. As cinco unidades são descritas a seguir:

### 4.1 Unidade A1

Morrotes pequenos a médios alongados e alinhados em áreas com declividades médias a altas, com frequência de canais baixa a muito baixa. Os materiais inconsolidados presentes são residuais dos diabásios e apresentam perfis com espessuras médias a grandes (sempre superiores a 5m).

Tais materiais apresentam textura média, massa específica dos sólidos  $2,72 \text{ g/cm}^3$  e são classificados predominantemente como sendo areias siltsosas e areias argilosas não lateríticas. Ao sul da Bacia, os diabásios da formação Serra Geral apresentam textura argilosa, com massa específica média de  $2,75 \text{ g/cm}^3$  e classificados como argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas.

O coeficiente de permeabilidade médio

medido na área foi de  $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ .

Atualmente, estas unidades geoambientais estão recobertas por alguns fragmentos de mata, principalmente na porção localizada a nordeste da bacia. Por outro lado, notaram-se áreas de uso agrícola e de solo exposto nas porções localizadas nas porções noroeste e centro-oeste.

De acordo com a legislação vigente, as áreas de topos de morros são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP's), portanto a unidade geoambiental A1, por ser composta por platôs, não deveria ter nenhum tipo de uso antrópico.

Recomenda-se então, a extinção de qualquer tipo de agricultura e de ações de desmatamento no local, incentivando assim a manutenção dos fragmentos de mata ainda existentes e o processo de reflorestamento com espécies nativas da região.

### 4.2 Unidade A2

Constituída por escarpas com declividades geralmente superiores a 20%, com alta densidade de canais alinhados segundo a sudoeste se relaciona aos materiais inconsolidados residuais rasos (espessura raramente superior a 2m) derivados da alteração dos diabásios e dos arenitos da formação Botucatu.

Os magmatitos são geralmente explorados para a produção de agregados graúdos (brita) e de *petit pavé* para revestimento. Os materiais inconsolidados dos magmatitos presentes nessa unidade têm textura média, massa específica dos sólidos  $2,72 \text{ g/cm}^3$  e são predominantemente classificados como NA'.

As taxas de potencial de escoamento superficial nesta unidade são consideradas altas (5 a 8), dado à alta declividade que exerce papel fundamental e seus coeficientes de permeabilidade médio são de  $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ .

Como área da unidade geoambiental A2 é representada espacialmente pelas escarpas, o seu uso ficou muito restrito graças às altas declividades do local. Sendo assim, atualmente a área é recoberta por mata e alguns focos de campos.

As altas declividades aliadas ao alto potencial de escoamento superficial na área demonstram o risco de ocorrência de processos erosivos. É fundamental que as áreas de mata do local sejam preservadas, a fim de conter

eventuais riscos geomorfológicos.

### **4.3 Unidade B1**

Essa unidade é composta por encostas convexas de colinas pequenas a médias, com média densidade de canais, declividades predominantes de até 10%, com as menores declividades nas porções superiores das encostas, e aumento de declividade em direção à base da encosta.

As porções superiores destas encostas representam topos do relevo local e constituem-se em áreas de recarga para os sistemas aquíferos na bacia. O substrato rochoso dessa unidade Geoambiental é a formação Botucatu.

Os perfis de alteração são constituídos de materiais residuais da formação Botucatu e depósitos coluvionares da formação Santa Rita do Passa Quatro. Os materiais inconsolidados residuais da formação Botucatu apresentam textura predominantemente arenosa fina, massa específica dos sólidos média de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, e na classificação MCT são classificados predominantemente como LA.

São perfis de alteração homogêneos com espessuras superiores a 5m e coeficientes de permeabilidade são da ordem de 10<sup>-3</sup> cm/s.

Os materiais inconsolidados coluvionares da formação Santa Rita do Passa Quatro apresentam textura francamente arenosa, massa específica dos sólidos média é de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, e na classificação MCT tais materiais inconsolidados são classificados predominantemente como NA.

São perfis de alteração homogêneos com espessuras superiores a 5m e coeficientes de permeabilidade são da ordem de 10<sup>-2</sup> cm/s.

Como esta unidade representa 63,4% da bacia, existe uma grande diversidade de tipos de uso do solo, porém predominam a agricultura (principalmente com a cana-de-açúcar), fragmentos de mata e solo exposto.

Algumas das áreas identificadas como solo exposto (nordeste da unidade) representam erosões lineares de grande porte, mais conhecidas como voçorocas. Estes processos associados à ação erosiva do rio Clarinho são um risco à qualidade ambiental da área, já que causam grande perda de solos agricultáveis, risco de acidentes e desassossego dos moradores próximos.

Outro problema associado às voçorocas

no local é a degradação da qualidade dos cursos d'água próximos, já que são o destino do sedimento removido. Esta sedimentação ao longo dos canais de drenagem causa alterações das características físicas e químicas dos recursos hídricos.

Em muitos locais ao longo desta unidade foi possível notar a supressão da mata ciliar nativa em detrimento do cultivo de cana, com o assoreamento de alguns afluentes do rio Clarinho.

Há, portanto, a necessidade de promover ações que procurem mitigar os processos erosivos na área. Pelo tamanho da voçoroca fica inviável sua total recuperação, porém se faz necessário estabilizar o processo para que não degrade ainda mais o ambiente local.

Incentivar práticas conservacionistas é fundamental na área, já que é clara a alta suscetibilidade a erosão nas cabeceiras do rio Clarinho. Tais práticas são muito mais baratas do que medidas de recuperação, principalmente em médio e longo prazo.

O cultivo da cana-de-açúcar atualmente é indispensável para a economia local, porém a legislação deve ser respeitada para que os problemas ambientais ao longo do rio Clarinho sejam amenizados. É necessário recompor as áreas de mata ciliar com o intuito de reestabelecer a qualidade ambiental ao longo dos cursos d'água.

### **4.4 Unidade B2**

Encostas côncavas de colinas médias, com baixa densidade de canais, declividades até 10% na porção superior da encosta e menores que 5% em sua base. O substrato rochoso dessa unidade são os arenitos da formação Pirambóia. Os perfis de alteração são constituídos de materiais residuais da formação Pirambóia e ocasionalmente depósitos coluvionares da formação Santa Rita do Passa Quatro. Os materiais inconsolidados dos arenitos da formação Pirambóia apresentam massa específica dos sólidos média de 2,675 g/cm<sup>3</sup> tanto a leste quanto a oeste da região de vales, e são classificados predominantemente como LA.

Os materiais inconsolidados retrabalhados da formação Santa Rita do Passa Quatro têm textura arenosa (chegando a ter 87% de areia em seu horizonte B), a massa específica dos sólidos

identificada foi de 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Tais materiais estão inseridos de acordo com a classificação MCT na classe NS<sup>7</sup>.

Outro problema identificado nesta unidade é a relação da textura arenosa dos materiais com o baixo potencial de escoamento, o que gera um alto potencial de contaminação de aquíferos. O uso do solo na área deve ser restringido à ações que não sejam efetivamente poluidoras e que não representem risco à qualidade ambiental da área.

Atualmente, grande parte desta unidade é recoberta pela cana-de-açúcar, e devido à necessidade de utilização de grande quantidade de defensivos agrícolas que este cultivo demanda, fica evidente o potencial de contaminação do local.

#### 4.5 Unidade B3

A unidade B3 é composta essencialmente por vales pequenos, mais fechados nas regiões de nascentes e abertos no baixo curso dos canais de drenagem. As declividades são predominantemente inferiores a 5%, com ocorrências de declividades menores que 2% no baixo curso, onde existem depósitos aluviais expressivos. O substrato rochoso dessa unidade Geoambiental é a formação Pirambóia.

Os materiais inconsolidados dos arenitos da formação Pirambóia apresentam textura predominantemente arenosa, com massa específica dos sólidos de 2,67 g/cm<sup>3</sup> e classificados como LA.

Os depósitos aluviais do Quaternário encontrados na área apresentam textura arenosa e são classificados como NA. Sua massa específica dos sólidos é de 2,66 g/cm<sup>3</sup>.

Assim como a unidade B2, esta unidade apresenta textura predominantemente arenosa e potencial de escoamento considerado baixo. Além do problema de contaminação de aquíferos, fica evidente a suscetibilidade à erosão principalmente pela ação corrosiva dos corpos d'água.

A manutenção da mata ciliar, o reflorestamento ao longo dos rios e o uso racional dos recursos hídricos é fundamental para que o processo erosivo seja combatido.

### 5. CONCLUSÕES

A presença da unidade de terreno B1 (encostas convexas) em 63,4% da área tem grande

importância na dinâmica hídrica superficial, uma vez que tais áreas representam grande parte das áreas de recarga de aquíferos, além de serem formas favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos.

A expressiva ocupação pela cana-de-açúcar e as pequenas áreas de mata são resultados do processo de desmatamento em detrimento dos cultivos agrícolas na região. Este desmatamento também foi o maior responsável pelo surgimento da grande quantidade de solos expostos, evidenciando processos de degradação ambiental.

A predominância de áreas com potencial de escoamento superficial baixo e médio se justifica em função da predominância de materiais inconsolidados de textura arenosa na área. Tal situação indica altas taxas de infiltração, o que pode representar perigos de contaminação do solo ou da água subterrânea em função das condições de uso do solo.

As principais ações de gerenciamento a serem adotadas por unidades geoambientais na área são: Unidade A1 - extinção de atividades agrícolas, preservação dos fragmentos de mata e recomposição da cobertura vegetal florestada visando à proteção de APP (topos de morro); Unidade A2 - proteção e recomposição da cobertura vegetal para reduzir o potencial de ocorrência de processos erosivos; Unidade B1 - implantar ações para mitigar os processos erosivos, em particular técnicas de manejo e práticas conservacionistas; Unidade B2 - incentivo de usos com baixo potencial de contaminação e poluição, em função da textura arenosa dos materiais inconsolidados e baixo potencial de escoamento superficial; B3 – características similares à Unidade B2, devendo-se adotar medidas visando à redução dos riscos de poluição e contaminação, além de medidas para evitar a instalação de processos erosivos.

Tais ações, fruto dos conhecimentos permitidos via zoneamento geoambiental, são o ponto de partida para a definição de instrumentos de planejamento territorial eficientes na área.

Estudos de detalhe permitirão a definição de escolhas de intervenções mais específicas em locais com registro de problemas ambientais mais significativos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELÁZQUEZ, A. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping - a tool for land use planning in developing countries, **Geomorphology**, v.39, Issues 3-4. p. 211-219, 2001.
- CAMARA G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, Issue 3. p. 395-403, 1996.
- CASTRO S.; QUEIROZ NETO, J.P. Soil erosion in Brazil from coffee to the present-day soy bean production. **Developments in Earth Surface Processes**, v. 13, Special Issue. p. 195-221 2010a.
- CENDRERO, A. Environmental Geology of the Santander Bay Area, northern Spain. **Environmental Geology**, v.1, Issue 2, p. 97-114, 1975.
- CENDRERO, A. Environmental survey along the Santander - Unquera coastal strip, northern Spain, and assessment of its capacity for development. **Landscape Planning**, v.7, Issue 1, p. 23-56, 1980.
- CHAVES, H.M.L. Soil erosion modeling & control in Brazil: past, present and future. In: International Workshop Erosion, Transport and Deposition of Sediments **Anais...** p.225-245, 2008.
- DAI, F. C., LEE, C. F., ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering geology**, n.61(4), p.257-271. 2001.
- ESRI (2010). ArcGIS® 10.0 Tutorial. Environmental Systems Research Institute. 13 vol.
- FALEIROS, C.A.R.J. **Zoneamento ambiental da bacia do Rio Fartura**: Abrangendo os municípios de São José do Rio Pardo-SP, São Sebastião da Gramma- SP, Vargem Grande do Sul-SP e Águas da Prata – SP, na escala 1:50000. Dissertação (mestrado). São Carlos. Universidade Federal de São Carlos (2012), 195p.
- FREITAS, M. I. C., ROSSETTI, L. A. F. G., OLIVEIRA, R. B. N. Risk Mapping in Urban Areas: Methodological Essay for Sample Area of Santos, São Paulo–Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.67 (5), p.953-962, 2015.
- GALIANO, V. **Mapeamento geotécnico da quadrícula de Pirassununga (SP) na escala 1:50000, como subsídio ao planejamento territorial**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2001, 140p.
- GUPTA, A.; AHMAD, R. Urban steeplands in tropics: an environment of accelerated erosion. **GeoJournal**, v.49 Issue 2, p.143-150, 1996.
- HE, X.; ZHOU J.; ZHANG X.; TANG K. Soil erosion response to climatic change and human activity during the Quaternary of the Loess Plateau, China. **Regional Environment Change**, v.6, p. 62-70, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cartas topográficas. Folha Topográfica de Santa Rita do Passa-Quatro (SF-23-V-C-V-1.Escala 1:50.000, 1971.
- INSTITUTO GEOLÓGICO. **Mapa Geológico – Folha Santa Rita do Passa-Quatro (SF-23-V-C-V-1)**. São Paulo, 1981. Escala 1:50.000.
- LOLLO, J.A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. .. f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995. 2 v. 246 p.
- LORANDI, R.; LOLLO, J.A.; GUERRERO, J.V.R. Carta de unidades aquíferas aplicada ao Zoneamento (Geo)Ambiental- Estudo de Caso na Bacia do Rio Claro. In: 14º Congresso Nacional de Geotecnia. **Anais**. p. 1-6, 2014.
- MENDE, A.; ASTORGA, A. Incorporating geology and geomorphology in land management decisions in developing countries: A case study in Southern Costa Rica. **Geomorphology**, v. 87, Issues 1-2, p. 68-89, 2007.
- PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Carta de Potencial de Escoamento Superficial da folha de Piracicaba/SP. **Revista de Geociências**. Sao Paulo, v. 12, n.2, 1993.

- PIMENTEL, D. Soil erosion: a food and environmental threat. **Environment, Development and Sustainability**. v.8, Issue 1, p. 119-137, 2006.
- PMSRPQ - PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA RITA DO PASSA QUATRO. **Plano Diretor Participativo** - Diagnóstico social e econômico. Lei nº 2.667. Outubro/2006, 50p.
- ROSS, J. L. S.; I. C. MOROZ. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPESP. 1997.
- ROVANI, F.F.M., CASSOL, R. CARTOGRAFIA AMBIENTAL: CONTRIBUIÇÕES NOS ESTUDOS GEOGRÁFICOS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.64 (2), p.389-403, 2012.
- SHARMA, R. S., PHANIKUMAR, B. R. Geoenvironmental investigation of a contaminated site. **Engineering geology**. n. 85 (1), p. 229-237, 2006.
- SILVA A.M., ALVARES, C.A., WATANABE, C.H. Natural potential for erosion for Brazilian territory. In: Godone D, Stanchi S. (Org.). **Soil Erosion/book 2**. 1st ed. Intechopen, Rijeka, Croatia, 2011.
- SILVEIRA, L.L.L.; PEJON, O.J. Index properties to predict erodibility of tropical soil. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**. n. 66, p. 225-236, 2007
- SOUZA, L.A.; SOBREIRA, F.G.; PRADO-FILHO, J.F. Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana – MG. RBC - **Revista Brasileira de Cartografia** n. 57 (3), 2005.
- SPAVOREK, G.; CORRECHEL, V.; PEREIRA BARRETTO, A.G.O. The risk of erosion in Brazilian cultivated pastures. **Scientia Agricola**. n.64, p. 77-82, 2007.
- TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.F.; Soil erosion costs. In: Sober 47th Congress. **Anais**. p.35-42, 2009.
- WAELE, J., DI GREGORIO, F., EL WARTITI, M., FADLI, D., FOLLESA, R., MARINI, A., MELIS, M. T. . Geo-environmental risk in the upper valley of the Oued Sebou (Fes, Central Morocco): a preliminary approach. **Journal of African Earth Sciences**, n.39 (3), p. 491-500, 2004.
- UNITED STATES AIR FORCE (USAF). **Fotografias aéreas pancromáticas**. Escala 1:60.000, 1969.
- ZUQUETTE, L.V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras**. São Carlos : EESC/USP. 1987. 3.v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1987, 673p.
- ZUQUETTE, L.V. GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. Oficina de Textos, São Paulo, 2004, 190p.