

**PAULO DE MIRANDA BERNARDO**

**RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL VISANDO A INFILTRAÇÃO DE  
ÁGUA: UMA ABORDAGEM MULTICRITERIAL**

**Botucatu**

**2017**



**PAULO DE MIRANDA BERNARDO**

**RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL VISANDO A INFILTRAÇÃO DE  
ÁGUA: UMA ABORDAGEM MULTICRITERIAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestrado em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Célia Regina Lopes Zimback

**Botucatu**

**2017**

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

B523r Bernardo, Paulo de Miranda , 1984-  
Recomposição florestal visando a infiltração de água:  
uma abordagem multicriterial / Paulo de Miranda Bernardo.  
- Botucatu: : [s.n.], 2017  
81 p.: il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017  
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback  
Inclui bibliografia

1. Bacia hidrográfica. 2. Recursos naturais. 3. Sistemas de Informação Geográfica. 4. Paisagens fragmentadas.  
I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu).  
Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu




**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL VISANDO A INFILTRAÇÃO DE  
ÁGUA: UMA ABORDAGEM MULTICRITERIAL**

**AUTOR: PAULO DE MIRANDA BERNARDO**

**ORIENTADORA: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA  
(IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

  
Prof. Dr. ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI  
Depto Centro de Ciências Sócias e Exatas / Bauru (SP)

  
Prof. Dr. LUIS GUSTAVO FREDIANI LESSA  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 30 de agosto de 2017.



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares pelo apoio incondicional.

Ao Fábio Nossack, pela amizade, companheirismo, oportunidades e ensinamentos.

À Professora Célia Zimback, pela orientação, pela paciência e ensinamentos.

À Tatícia Ikeda, pela contribuição no trabalho, apoio e ternura.

À todas as pessoas do GEPAG que me ajudaram direta ou indiretamente durante o trabalho e o mestrado.



## RESUMO

Para o planejamento dos recursos naturais e avaliação de uma determinada área, é imprescindível analisar e identificar a bacia hidrográfica. O sensoriamento remoto e procedimentos modernos para obter-se imagens, referentes aos novos sistemas de informações geográficas (SIGs), auxiliam na aquisição de diversos tipos de dados. Foram determinadas as áreas que favorecem a conexão entre os fragmentos florestais, com o objetivo de realizar análise de paisagem na sub-bacia do Rio Araquá. Caracterizar o uso e cobertura atual do solo na bacia, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, chamada de classificação supervisionada por máxima verossimilhança. Depois, com o auxílio do SIG, foi feita a análise multicriterial com o Método da Combinação Linear Ponderada, determinando os critérios (fatores e restrições) e os pesos dos fatores. A área de estudo foi descrita, assim como o material cartográfico e os dados orbitais. Foram gerados mapas de rede de drenagem, de uso e cobertura do solo, declividade, solos, potencial de infiltração, AVA, fragmentos florestais, classificação da paisagem no programa ArcGis e análise multicriterial no Idrisi Selva. Por último, foi gerado o mapa de conexão florestal, em que notou-se que as áreas mais críticas estão próximas à cobertura florestal, onde as conexões de fragmentos são afetadas por ocupação antrópica e pela agricultura, que cresce a cada ano. Para a recuperação dessas áreas, os agentes ambientais devem realizar planejamentos, apoiando-se em uma metodologia que contempla toda a paisagem e ecossistemas, priorizando a conexão entre os fragmentos florestais e perturbações que ocorrem neste ambiente da área de estudo.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica. Recursos naturais. SIGs. Fragmentos florestais. Análise multicriterial. Análise da paisagem.



## ABSTRACT

River River basin analysis and identification are extremely important to natural resources planning and evaluation of a given area. Remote sensing and modern procedures to capture images corresponding to the new geographic information systems (GIS) assist the acquisition of different types of data. In this study, regions that favor the connection of forest fragments were delimited to perform the landscape evaluation of Araquá river sub-basin. Current land use and cover were characterized using supervised maximum likelihood classification of remotely sensed images. Then GIS-based approach to multi-criteria evaluation was performed with a Weighted Linear Combination Method to determine the conditions (factors and restrictions) and factor weights. The studied area was described as well as the cartographic material and the orbital data. Maps for drainage network, land use/cover, declivity, soil, infiltration capacity, area of variable inflow, forest fragments and landscape classification were generated using ArcGis software and the multi-criteria analysis was performed with Idrisi Selva software. Finally, a map for forest connection was established, which revealed that the most critical areas are near to forest cover where the connection between fragments are affected by anthropic occupation and agriculture. To recover these areas, environmental managers must create strategies based on a methodology that contemplates the entire landscape and ecosystems, prioritizing the connection between forest fragments and the existing disruptions in the studied area.

**Keywords:** River basin. Natural resources. GIS. Forest fragments. Multi-criteria analysis. Landscape analysis.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da sub-bacia hidrográfica do Araquá no contexto regional e estadual.....	33
Figura 2 – Mapa de solos .....	36
Figura 3 - Rede de drenagem gerada por meio de uma imagem de satélite do ano de 2016 .....	41
Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da terra a partir da classificação supervisionada, ano de 2016 .....	43
Figura 5 - Mapa de declividade .....	45
Figura 6 - Mapa de Potencial de infiltração .....	48
Figura 7 - Mapa de fragmentos florestais da sub-bacia do Rio Araquá.....	50
Figura 8 - Mapa gerado a partir do índice SI em Análise de ecologia da paisagem..	52
Figura 9 - Mapa com os critérios de restrições da sub-bacia .....	55
Figura 10 - Fator Proximidade à Rede de Drenagem da sub-bacia do Rio Araquá ..	58
Figura 11 - Fator da forma, em relação à análise da paisagem .....	60
Figura 12 - Fator do Potencial de infiltração.....	62
Figura 13 - Fator de áreas de variáveis de afluência (AVA).....	64
Figura 14 - Fator Proximidade e distância entre os Fragmentos Florestais da Sub-Bacia do Rio Araquá .....	66
Figura 15 - Mapa de conexão florestal pelo análise CLP .....	68



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Cartas planialtimétricas que recobrem a área de estudo .....	34
---	----



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de uso e cobertura do solo, ano de 2016 .....	44
Tabela 2 - Classificação de declividade .....	46
Tabela 3 - Potencial de infiltração do solo.....	46
Tabela 4 - Valores de área em relação à forma para cada classe classificada por meio de análise de paisagem.....	53
Tabela 5 - Peso dos Fatores na Análise Multicriterial .....	56



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>O ciclo hidrológico</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Desenvolvimento urbano</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Recursos hídricos e bacia hidrográfica</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Geoprocessamento e Sensoriamento remoto</b>	<b>24</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Sensoriamento remoto</b>	<b>26</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Classificação de imagens</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Estudo da paisagem</b>	<b>28</b>
<b>2.6</b>	<b>Análise multicriterial</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição da área de estudo</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais</b>	<b>33</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Material cartográfico</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Dados orbitais</b>	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>35</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Planos de informação</b>	<b>35</b>
<i>3.3.1.1</i>	<i>Rede de drenagem</i>	<i>35</i>
<i>3.3.1.2</i>	<i>Declividade</i>	<i>35</i>
<i>3.3.1.3</i>	<i>Solos</i>	<i>36</i>
<i>3.3.1.4</i>	<i>Potencial de infiltração</i>	<i>37</i>
<i>3.3.1.5</i>	<i>Área variável de afluência (AVA)</i>	<i>37</i>
<i>3.3.1.6</i>	<i>Condutividade hidráulica</i>	<i>37</i>
<i>3.3.1.7</i>	<i>Fragmentos florestais</i>	<i>38</i>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Plano de informação</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise multicriterial</b>	<b>53</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Restrições</b>	<b>54</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Decisão dos pesos dos fatores</b>	<b>56</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Fator Proximidade à Rede de Drenagem</b>	<b>56</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Fator da análise da paisagem quanto à forma</b>	<b>59</b>

<b>4.2.7</b>	<b>Fator Potencial de infiltração</b>	<b>61</b>
<b>4.2.8</b>	<b>Área variável de afluência (AVA)</b>	<b>63</b>
<b>4.2.9</b>	<b>Fragmentos Florestais</b>	<b>65</b>
<b>4.3</b>	<b>Conexão florestal</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para planejar e avaliar o uso dos recursos naturais de uma dada região, é fundamental estudar e diagnosticar a bacia hidrográfica. Para um planejamento coerente, é necessário ter conhecimento dos fatores que envolvem toda a comunidade no processo, assim como os fatores sócio-culturais, devendo-se observar o desenvolvimento de programas informativos sobre uso racional da água; o reconhecimento das práticas usuais de produção sustentável; o estímulo à capacitação e extensão para aprimorar a produção; apresentar melhores condições para que os agricultores possam criar projetos sustentáveis.

Os recursos hídricos, devido à falta de cobertura florestal, principalmente nas áreas de nascentes e matas ciliares, sofrem com a degradação em razão ao uso inadequado do solo nas bacias hidrográficas, sendo comumente encontradas propriedades rurais que não utilizam práticas de conservação do solo, como o terraceamento ou plantio direto, deixando o solo exposto por longos períodos, o que contribui de forma acelerada para o avanço de processos erosivos e para o assoreamento de rios e represas.

No Brasil, a industrialização e o crescimento acelerado da urbanização, juntamente com o despreparo cultural e à escassez de recursos financeiros, agravaram os problemas de poluição e qualidade das águas de forma acelerada. Como resultado, nas regiões mais povoadas do país, o uso desordenado de diversos insumos químicos na produção agrícola, na industrialização e urbanização são consentidos ou tolerados. No meio urbano, cerca de 70% dos efluentes industriais não tratados e 90% dos esgotos domésticos são lançados nos rios, resultando na degradação dos mananciais disponíveis para água potável.

Uma forma de monitorar esta questão é utilizar o geoprocessamento como ferramenta de estudo em bacias hidrográficas, pois proporciona uma visão espacial da condição ambiental dessas bacias e uma análise temporal. O uso das tecnologias do sensoriamento remoto no mapeamento e monitoramento das paisagens vem se intensificando. Os dados obtidos a partir de satélites são analisados e processados por meio de técnicas de análise associadas aos sistemas computacionais.

A análise da paisagem foi feita de modo a aliar a parte conceitual da ciência “Ecologia de Paisagem” com a tecnologia Geoprocessamento. Tendo em vista que a

tecnologia dos SIGs atingiu uma maturidade em termos de funcionalidade e capacidade de análise, o enfoque atual passou a centrar na construção de sofisticados modelos de representação de sistemas espaciais, usando-se desse rico ambiente criativo. Nesse aspecto, a Ecologia de Paisagem, pode trazer grandes contribuições aos estudos de sistemas ambientais. A ênfase está na heterogeneidade espacial como força motriz dos padrões e processos ecológicos, a Ecologia de Paisagem busca a compreensão da dinâmica da heterogeneidade espacial e do efeito da atividade humana como um fator de organização da paisagem.

O estudo dos impactos ambientais é muitas vezes complexo e de grande porte, com diversas análises simultâneas. Assim, a análise multicriterial é uma forma organizada, ordenada e simplificada para tomar as decisões necessárias para resolver essas questões em um estudo. Deve-se conduzir muitas vezes à escolha de uma alternativa que seja a mais adequada para atender as prioridades ambientais e sócio-econômicas essenciais de uma comunidade.

Desse modo, cria-se uma ferramenta para a implantação de sistemas de apoio a decisões sobre a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, onde os interesses econômicos, sociais e a conservação do meio ambiente e recursos hídricos, sejam tratados de maneira integrada, sob o paradigma da sustentabilidade.

O objetivo geral deste trabalho consistiu no uso de parâmetros da paisagem, de forma analítica, para o estudo do território como suporte ao planejamento ambiental. Foram mapeados, dentre outros critérios, os fragmentos florestais da sub-bacia e foi determinada a influência destes nas diferentes utilizações dos recursos sobre o potencial da infiltração de água.

Os objetivos específicos foram:

- a) Caracterizar o uso e cobertura atual do solo na bacia, por meio de técnicas de sensoriamento remoto;
- b) Estabelecer parâmetros para a classificação dessas variáveis do meio físico;
- c) Caracterizar a configuração e composição da cobertura florestal, por meio de atributos da paisagem;
- d) Determinar e correlacionar a influência das variáveis ambientais envolvidas na sub-bacia, por meio de Análise multicriterial;
- e) Indicar as áreas prioritárias para a recomposição florestal;
- f) Infiltração de água.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O ciclo hidrológico**

De acordo com Oki e Kanae (2006) e Sherwood e Fu (2014), o ciclo hidrológico global alterou-se devido à mudança climática e as atividades humanas com consequências significativas para os recursos hídricos.

A mudança climática é representada principalmente pela redistribuição espacial-temporal de chuva e aumento da temperatura que, juntos, controlam o fluxo da água e a umidade do solo (FRANS et al., 2013).

Segundo Samuel (2011), a água pode ser encontrada sob formas diversas, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta. Encontra-se a água em três estados físicos diferentes: sólido, líquido e gasoso, mas principalmente, no estado líquido. A água passa de um estado físico para o outro constantemente, assim formam ciclos, por meio de processos denominados Ciclo hidrológico ou Ciclo da água (BRAGA et al., 2002).

Para Tucci (1993), nem todo o volume de chuva precipitado nos continentes evapora, parte vai para rios e oceanos, assim o ciclo só é fechado ao nível global. Dessa forma, em bacias hidrográficas de áreas menores, o mais correto é caracterizar o ciclo hidrológico ao nível local, como se fosse aberto.

No Brasil, apesar de ocorrer grandes prejuízos advindos da precipitação na forma de granizo e, em alguns locais, possa eventualmente ocorrer na forma de neve, a chuva é a forma mais importante de precipitação (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

### **2.2 Desenvolvimento urbano**

A água é essencial à vida e é a característica definidora do planeta Terra. Hidrologia é uma ciência que estuda o ciclo global de água e as características físicas, químicas e os processos biológicos envolvidos nos diferentes reservatórios e fluxos de água dentro deste ciclo. Isso inclui vapor de água, água líquida, neve e gelo. Com efeito, uma das razões que faz com que o nosso planeta seja único é o fato de que a água pode ser encontrada em todas as três fases, à temperaturas de superfície da

Terra e pressões. É a única substância comum para os quais isto é verdade (MARSHALL, 2013).

De acordo com o a Agência Nacional de Águas (ANA), no Brasil há problemas em várias regiões hidrográficas do Sudeste e do Sul, nas bacias dos rios Uruguai e São Francisco e, parte das bacias dos rios Tocantins, na Amazônia, no Cerrado e Pantanal (ANA, 2003). As causas desses problemas são o lançamento de esgotos em rios e córregos, desmatamento, o crescimento desordenado de áreas urbanas e a gestão inadequada dos ecossistemas aquáticos (CAMPANILI, 2003).

O desenvolvimento urbano e água para abastecimento urbano interagem mutuamente. Por um lado, uma urbanização é considerada a principal causa de poluição e esgotamento dos recursos hídricos; enquanto, por outro lado aumentou inundações urbanas que ameaçam a segurança humana e a integridade da infraestrutura. Muitos pesquisadores têm investigado a relação entre terra, poluição da água e crescimento urbano (CAREY et al., 2013; CARLE et al., 2005; CRONIN et al., 2003; RUEEDI et al., 2009; VIZINTIN et al., 2009) identificando a urbanização como uma das principais causas de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Esta contaminação é a consequência da libertação acidental de substâncias tóxicas ou mais vezes por vazamento de esgotos. O tipo de poluentes, bem como a sua carga pode variar muito de acordo com a localização e densidade da urbanização (BECK, 2005; EISWIRTH et al., 2003).

O desenvolvimento econômico relacionado com os recursos hídricos dos rios, muitas vezes leva a mudanças dramáticas nos ecossistemas aquáticos. Particularmente nas últimas décadas, consequências desastrosas têm sido relatados devido à sobre-exploração dos recursos hídricos em todo o mundo (MEADOR et al., 2003; PAUKERT et al., 2011; SAITO et al., 2001; VÖRÖSMARTY et al., 1997).

As águas de superfície podem apresentar poluição química e ameaçar os organismos aquáticos, perdas de habitats, de biodiversidade, desequilíbrio no ecossistema e ameaça potencial para a saúde humana (MALAJ et al., 2014; SCHWARZENBACH et al., 2006).

O planejamento econômico baseado unicamente no desenvolvimento e no crescimento desenfreado tem causado desequilíbrios graves ao meio ambiente, pois a exploração intensa dos recursos naturais sem consciência provocam inúmeras perturbações (DIAS et al., 2002).

### 2.3 Recursos hídricos e bacia hidrográfica

Segundo Totti (2008), o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), afirmou em um relatório que, cerca de 1,3 bilhão de pessoas não têm acesso à água potável e 2 bilhões de pessoas não têm acesso ao saneamento básico. Estima-se que com o crescimento demográfico, juntamente com o aumento da demanda ocasionada pelo desenvolvimento econômico, o consumo humano de água duplicará em 25 anos. O IPCC também afirmou, que é preciso ter repostas eficazes e planejamento para não haver consequências drásticas sobre os recursos hídricos, nas condições básicas do sistema de abastecimento de água e também às mudanças provocadas pelo crescimento populacional, da demanda crescente de produções tecnológicas e econômicas.

Para formação de nascentes e do lençol freático, as águas das chuvas infiltram no solo ou escoam superficialmente formando os riachos e rios (BARRELLA, 2001).

Define-se bacia hidrográfica como sendo uma área topográfica, um sistema conectado de cursos d'água ou por onde escoam um curso d'água, de modo que toda a vazão efluente seja descarregada para uma simples saída. Para aplicações, uso e estudos em relação ao meio ambiente são muito importantes, pelo fato de conter dados físicos, biológicos e sócio-econômicos (VILLELA; MATTOS, 1975).

Teodoro et al. (2007) acrescentaram que as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que perdem energia por meio do deflúvio e ganham energia pelos fatores climáticos e, encontram-se em equilíbrio dinâmico mesmo quando há perturbações antrópicas. Dessa forma, qualquer alteração na liberação ou no recebimento de energia, acarretará em uma mudança satisfatória, cujo efeito da modificação tem a tendência de minimizar e reestabelecer o equilíbrio dinâmico (LIMA; ZAKIA, 2000).

De acordo com Setti et al. (2000), a bacia hidrográfica deve ser a unidade básica para a análise das águas, pois por meio da rede de drenagem, a maioria das relações de causa e efeito são integradas e, devem ser tratadas na gestão. Apesar de existirem várias unidades a serem consideradas, como países, estados, regiões e municípios, essas unidades não necessariamente apresentam a integração de uma bacia hidrográfica, o que poderia tornar a gestão falha e ineficiente.

Segundo Gallina (2008), somente a partir da década de 80, nos estados de Santa Catarina e Paraná, nos anos 90 em São Paulo e no Rio de Janeiro, que projetos de manejo de recursos hídricos foram observadas no Brasil. Esses projetos de

microbacia hidrográfica como unidade de planejamento, estabeleceram uma nova abordagem das questões ambientais em relação aos recursos naturais (ATTANASIO, 2004).

Atribuir um conceito ecológico às sub-bacias, como a menor unidade do ecossistema, é muito importante para analisar a relação de fatores bióticos e abióticos e possíveis perturbações que possam atrapalhar a dinâmica do seu funcionamento. Portanto, é um conceito que visa o monitoramento e identificação dos impactos ambientais (LEONARDO, 2003; MOSCA, 2003).

Para Barbosa (2009), as propostas de planejamento de recursos hídricos e saneamento, começaram a partir do final do século XVIII, dando ênfase à preservação de mananciais e a disponibilidade de água (SANTOS, 2004).

Em meio à rota predatória traçada pela civilização dos últimos séculos, novas propostas de organização social começaram a surgir no século XX e estruturas de desenvolvimento foram construindo-se a partir de concepções diferenciadas de processos de planejamentos (ALMEIDA et al., 2004; FRANCO, 2001).

## **2.4 Geoprocessamento e Sensoriamento remoto**

Segundo Fernandes e Amaral (2003), o Sistema de Informação Geográfica (SIG) são tecnologias computacionais para armazenar, analisar e apresentar dados espaciais em um determinado processo para obter diferentes tipos de análise. Com esta ferramenta pode sobrepor-se outros dados, variáveis, mapas temáticos em diferentes escalas e obter-se análises diversas.

O uso do geoprocessamento tem aumentado muito, pois possibilita a atualização em relação as transformações que ocorrem no meio, tanto pelo aspecto natural, como antrópico, para a preservação do meio ambiente (MOTA, 2003).

De acordo com Matias (2006), as Geotecnologias têm utilização conjunta de equipamentos computacionais, sistemas de posicionamento global por satélite, sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto, com o objetivo de aprimorar o tratamento da informação espacial, fundamentado em cartografia digital.

Christofolletti (1999) destacou que os procedimentos metodológicos para a modelagem de sistemas ambientais ganharam realce com as tecnologias envolvidas

nos SIG's, apresentando ligações em Geociências, Hidrologia e Ecologia das paisagens e de forma complementar, para a análise espacial das informações, tornou-se essencial a inclusão da Geoestatística.

Segundo Silva e Zaidan (2004), amplas possibilidades técnicas e metodologias, em associação com novos conceitos derivados da tecnologia do geoprocessamento, começaram a ser refletidos em campos científicos tradicionais. Como por exemplo na Biologia, que é notável a contribuição por meio dos estudos ecológicos, passando a serem habilitados a expor e analisar, detalhadamente, relações espaciais entre entidades e eventos biológicos, permitindo assim verificações exaustivas de hipóteses sobre possíveis correlações entre variáveis biológicas e entre estas e as perturbações ambientais ditas antrópicas.

Segundo Yue et al. (2015), os sistemas convencionais de modelagem ambiental incluem programas SIG. As ferramentas permitem que os usuários combinem visualmente diferentes componentes do modelo de análise e gerar novos modelos de geoprocessamento (LANIAK et al., 2013).

Para Silva (2007), a inclusão do SIG para realizar modelos hidrológicos em bacias hidrográficas e suas aplicações, possibilita a efetuação de várias operações, simulações e comparações entre os modelos.

A grande vantagem do SIG é poder analisar, manipular, recuperar, modelar, consultar e apresentar dados georeferenciados em um sistema computacional. De maneira sofisticada, rápida e precisa, obtêm-se enormes vantagens devido à sua capacidade de manipular a informação espacial (CÂMARA, 1995). O uso do SIG passou a ser comum em universidades, agências governamentais e empresas a partir da década de 80. Atualmente diversas áreas e diferentes aplicações utilizam essa ferramenta para análises (GOODCHILD, 1993).

Com a utilização dos SIGs tornou-se possível análises mais complexas como a análise da paisagem como um todo. Segundo Batistella e Moran (2005), é necessária a documentação sobre as alterações do uso de cobertura da terra para entender as modificações que ocorrem em uma paisagem. Portanto, é preciso haver a integração de processos metodológicos que abrangem as dimensões da realidade da área de estudo, pois definem melhor as limitações, possibilidades, estimativas e cálculos sobre um estudo.

### **2.4.1 Sensoriamento remoto**

Novo (2008) conceituou o Sensoriamento Remoto (SR) como um conjunto de equipamentos tecnológicos, como satélites e sensores, para processamento de dados, com o auxílio de aparelhos de transmissão que são inseridos em aeronaves, espaçonaves, drones ou outros meios, para avaliar fenômenos e eventos, através de radiações eletromagnéticas em processos que ocorrem na superfície terrestre.

Conforme Florenzano (2002), as imagens obtidas por satélites, ao passarem diversas vezes pela superfície terrestre, fazem o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos e possibilitam um estudo mais detalhado do meio ambiente. Inúmeras são as aplicações, como: o monitoramento da erosão do solo, inundações, áreas de queimadas e desmatamentos. Essas imagens possibilitam uma visão da dinâmica e do conjunto de áreas extensas da superfície do planeta Terra.

De acordo com Souza (2010), com o auxílio de sensores através do SR, pode-se observar a superfície do planeta numa distância muito acima do solo. Esses sensores podem ser câmeras que detectam não somente a luz visível, mas também a radiação em outros comprimentos de onda como o infravermelho e as microondas, por exemplo.

Segundo Rees (1990), pode-se obter informações por intermédio do sensoriamento remoto sem contato direto com o alvo desejado. Curran (1985) descreveu que a utilização de sensores de radiação eletromagnética (REM) para registrar imagens podem ser interpretadas para fornecer informação útil sobre o ambiente.

Os principais fatores para o processo evolutivo do SR por satélites foram quatro tipos de tecnologias: sensores, sistema de telemetria, sistemas de processamento e lançadores. São vários sensores e instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens dos satélites, aumentando a capacidade de transmissão dos grandes volumes de dados, destinados ao SR, para o armazenamento e processamento dos dados (FIGUIREDO, 2005).

### **2.4.2 Classificação de imagens**

A técnica de Máxima Verossimilhança (MAXVER) é uma das técnicas mais utilizadas em sensoriamento remoto. Considerado um método tradicional estatístico,

que engloba parâmetros multivariados e é supervisionado, calcula esses parâmetros por meio de amostras de forma instantânea (ERBERT, 2001).

O processo de classificação de extração de dados que envolve um aglomerado de recursos, cuja finalidade é categorizar todos os pixels de uma imagem dentro classes de uso e cobertura da terra (LIANG et al., 2012).

As técnicas de classificação, via de regra, são agrupadas em supervisionadas e não supervisionadas. Na primeira, é necessária a obtenção prévia de informações de um especialista de domínio, com profundo conhecimento de fundo em relação ao fenômeno estudado. Já, as técnicas não supervisionadas podem prescindir desse conhecimento prévio. Nesse caso, as informações podem ser obtidas a partir de mapas já existentes ou a partir de trabalho de campo nas áreas de interesse do estudo (REBOUÇAS, 2011). Tipicamente as técnicas de classificação supervisionada mais referenciadas na literatura especializada são a máxima verossimilhança (JENSEN; TULLIS, 2008), Máxima a posteriori (MAP) (LOPES et al., 1990), máquina de vetores de suporte (PAL; MATHER, 2005) e redes neurais 15 (KAVZOGLU; MATHER, 2003).

A estratégia de parâmetros pixel a pixel mais usada em classificação de imagens orbitais é a classificação de máxima verossimilhança, pela sua eficácia, no sentido de que a exatidão não é facilmente obtida, mas os resultados gerados são imediatos. Grande parte das feições acompanham a classificação multinormal em imagens de sensoriamento remoto, com acúmulo de dados em torno da média e frequências de dados decrescentes, que caracterizam o aumento gradativo da combinação com outras formas (DAVIS; SWAIN 1978).

As áreas das classes podem apresentar variações nos valores pelo fato de que as áreas de treinamento definidas não foram satisfatórias para determinar o intervalo espectral. Ao comparar mapas, verifica-se uma resposta espectral confusa em relação à classe de fragmentos florestais e agricultura, por exemplo, que pode ser interpretada erroneamente por não ser um único alvo e sim duas classes bem diferentes (MOREIRA, 2001).

A eficiência do Maxver necessita, sobretudo, de uma exatidão razoável de aproximação da matriz de covariância e do vetor médio de toda classe espectral. Isso provém do número de pixels inseridos nas amostras de treinamento. Quanto maior o número de pixels numa amostra de treinamento, melhor será o resultado para realizá-los na matriz de covariância no Maxver (PREVIDELLI, 2004).

## 2.5 Estudo da paisagem

Segundo Crawshaw et al, (2007), a Ecologia de Paisagem foi criada na Europa central pelo geógrafo Carl Troll em 1939. Ela possui duas óticas de abordagem: uma européia, na qual há maior preocupação com o planejamento territorial, com o uso econômico dos recursos naturais da paisagem e com as inter-relações do homem com seu espaço (HABER, 2004; NAVEH, 1995) e outra norte-americana, mais conhecida no Brasil e desenvolvida em meados da década de 80, cujos representantes têm preocupação com a planificação dos recursos naturais, dando destaque a vegetações nativas, utilizando atributos de Ecologia de Paisagem para a preservação da biodiversidade e com a gestão de recursos naturais (FARINA, 1998; FORMAN, 1981; METZGER, 2001).

Moreira (2003) destacou que a complexidade da categorização de modelos é definir a qual classe pertence um determinado alvo. Para distinguir as diversas classes, um procedimento empregado para solucionar este tipo de dificuldade, depende da determinação de diferentes peculiaridades que os objetos possam apresentar.

Métodos e índices de ecologia da paisagem foram introduzidas para avaliar a qualidade do habitat, incluindo a área fragmentada, número de fragmentos, a densidade do fragmento, fragmentação da paisagem, porcentagem de área e conectividade (GREEN et al., 2009; PAUKERT et al., 2011).

Várias abordagens clássicas têm sido desenvolvidos para estimar o fluxo ecológico incluindo hídrico, hidráulico, e modelagem habitat adequação e uma síntese de três (HSU et al., 2012; LIU et al., 2011; THARME, 2003).

De acordo com Metzger (2001), a ecologia de paisagem é dividida em duas abordagens principais: a geográfica, na qual há interferência humana sobre a paisagem e a logística do território; e a ecológica, cuja relevância dos processos ecológicos e a importância destas relações no contexto da preservação ambiental. Estes conceitos e abordagens variadas, muitas vezes discrepantes, dificultam a definição dos termos.

Quanto a definição das paisagens fragmentadas, suas estruturas viabilizam a análise conforme o contexto da distribuição espacial de seus componentes e determinam as mudanças que possam ocorrer nesse processo, permitindo uma melhor direção para ações de conservação biológica (VALENTE, 2001).

Os processos ecológicos são muito influenciados pelos padrões e perturbações ambientais. Qualquer mudança relevante nas estruturas da paisagem é capaz de desestabilizar a integridade funcional dos alicerces, interferindo em processos ecológicos preocupantes, fundamentais para a permanência de populações, a preservação da biodiversidade e o equilíbrio do ecossistema (TRAFICANTE, 2007).

Ecologia da paisagem é baseada na ideia de que existe uma ligação entre o padrão e processos ecológicos espaciais. Índices espaciais ou métricos foram desenvolvidos por ecologistas da comunidade e da população, usando conceitos teóricos de perturbação, biogeografia de ilhas e teoria da informação (GUSTAFSON, 1998; KAREIVA, 1997; O'NEILL et al., 1988; TILMAN; TURNER et al., 1997). Estes índices são comumente relacionados ao tamanho, complexidade, diversidade e estrutura de vizinhança. Índices relacionados à complexidade mediram o quão complicado são as formas de correção. Índices relacionados à vizinhança mediram a relação de uma área com os seus vizinhos. Descrições matemáticas detalhadas sobre esses índices estão disponíveis em McGarigal et al. (2002).

As Geotecnologias são ferramentas que auxiliam na análise da paisagem por meio do uso de imagens de satélites e mapas digitais em um Sistema de Informações Geográficas (BRITO et al., 2007; CALEGARI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2008), proporcionando a classificação dos fragmentos de floresta nativa, assim como as regiões em que o uso de cobertura da terra encontram-se incompatíveis com a legislação ambiental atual.

Uma pesquisa científica, indica que uma região em que envolve economia, sociedade e natureza de uma área é um sistema muito complexo (QIAN et al., 1990; FANG et al., 2007; MENG et al., 2013) e, assim, os tomadores de decisão precisam de um modelo quantitativo para controlar o crescimento industrial e proteger o desenvolvimento sustentável da ecologia da paisagem em áreas industriais.

## **2.6 Análise multicriterial**

A análise multicriterial é um processo para analisar possibilidades para solução de problemas, utilizando diversos fatores referentes ao propósito de estudo, possibilitando a identificação das escolhas necessárias para o objetivo avaliado (FRANCISCO et al., 2007).

Segundo Diehl, citado por Bornia e Wernke (2001), a análise multicriterial não apresenta uma saída perfeita para uma determinada proposta, porém a mais razoável com a proporção de valores e com a metodologia utilizada. Não quer dizer que somente este tipo de análise seja abordada, mas é uma tentativa de racionalizar as particularidades de dados, muitas vezes subjetivos.

Depois de estruturar uma classificação, levando em conta o propósito a ser atingido e determinados os critérios fundamentais para obter um resultado satisfatório, deve-se aplicar os procedimentos de decisão multicriterial para sua resolução. As etapas do processo são: definir pesos para os critérios, normalizar e combinar critérios (RAMOS, 2000).

Ao definir os critérios para análise multicriterial precisa-se determinar a relevância pertinente de cada um na etapa de decisão, atribuindo um certo peso a cada critério integrante (SILVA et al., 2014) e a interferência de cada um no procedimento da análise para adequar aos objetivos do estudo proposto, por meio do método de comparação pareada.

Um procedimento muito comum na Avaliação Multicriterial (AMC) é a Combinação Linear Ponderada (CLP). Deve-se gerar os mapas de critérios (fatores e restrições), depois multiplica-se os fatores de cada mapa (ou melhor, cada célula, ou pixel, dos mapas) pelo seu peso e, por fim, resulta na soma no valor de 1. O mapa de resultados gerados tem variação de valores como os mapas de fatores normalizados (VOOGD, 1983).

Segundo Eastman (2012), uma das vantagens dos métodos da CLP e MPO (média ponderada ordenada) é a capacidade para dar diferentes pesos relativos a cada um dos elementos no processo de agregação. Fatores de pesos são atribuídos a cada fator, indicando uma importância relativa de todos os outros fatores e eles controlam como fatores compensam um ao outro. Nestes casos, fatores com alta aptidão em um determinado local podem compensar outros fatores com baixa adequação no mesmo local. O grau em que um fator pode compensar o outro é determinado por seu fator de peso ou de troca.

A escolha de áreas prioritárias de adequação, para encontrar respostas capazes de alcançar os objetivos em relação aos critérios de avaliação, como o exposto por Al-Adamat (2010), com um SIG cujo trabalho foi baseado, principalmente, nas formas de decisão que determinam como ordenar vários mapas de critérios que foi denominada de Combinação Linear.

Na classificação por meio do SIG, utiliza-se com muita frequência a Combinação Linear Ponderada (CLP) como normas de decisão. Atribui-se na CLP, cada um dos pesos em relação à sua importância para padronizar mapas de adequação (MALCZEWSKI, 2004). Em seguida, soma-se a resultância dos pesos de cada fator combinando suas aplicações, para produzir um mapa de adequação (VETTORAZZI, 2006).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de estudo

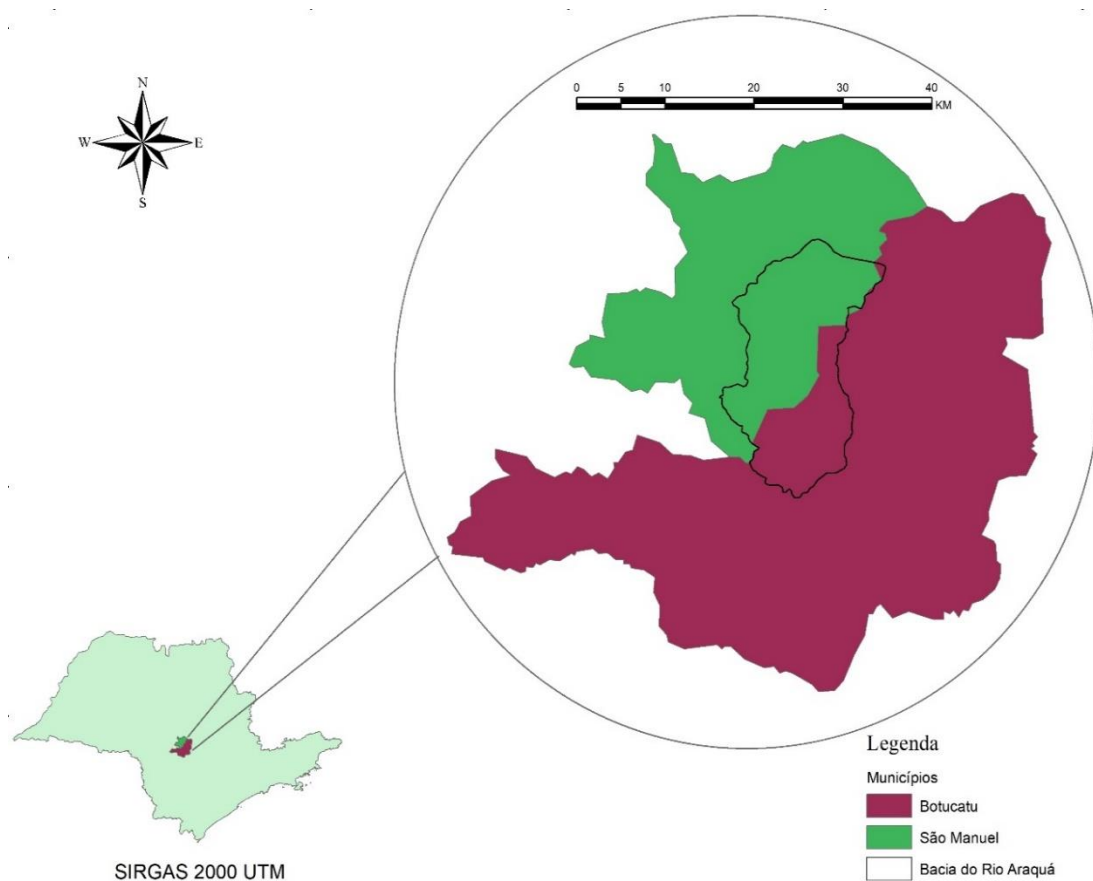
A sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá situada na região centro-oeste do estado de São Paulo, está inserida entre as cidades de Botucatu e São Manuel, geograficamente localizada entre as coordenadas UTM (X) 748889, 766404 e (Y) 7466164, 7494022, com uma área total 27,43 ha ou 274,30 km<sup>2</sup> (Figura 1).

A sub-bacia é afluente do Rio Tietê com uma parcela entremeada na região de Botucatu, pertencente à a UGRHI do Sorocaba-Médio-Tietê, coordenado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos. A área é composta de noventa municípios com índices pobres de disponibilidade hídrica, com uma população em torno de 7 milhões de habitantes, isto é, para cada habitante há cerca de 2.400 m<sup>3</sup> de água por ano (DAEE, 2008).

A rede hidrográfica da sub-bacia apresenta uma extensão total de aproximadamente 273 km que deságua no Rio Tietê.

Definiu-se que a vazão do Rio Araquá é de ordem de 3,83 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> em épocas chuvosas e, de 0,88 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> nas épocas secas. A largura da sub-bacia varia de acordo com os períodos secos e chuvosos, respectivamente, 4,46 e de 5,11 metros (OLIVEIRA, 2009).

**Figura 1 - Localização da sub-bacia hidrográfica do Araquá no contexto regional e estadual**



## 3.2 Materiais

### 3.2.1 Material cartográfico

Utilizou-se as cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) para a obtenção das curvas de nível, com o distanciamento entre as curvas de 5m e da rede de drenagem em escala 1:10.000. Na década de 80, editaram essas cartas em sistema de projeção UTM no datum Córrego Alegre, mostradas na Tabela 1 (SILVA, 2011).

**Quadro 1 - Cartas planialtimétricas que recobrem a área de estudo**

Articulação das folhas	Divisão administrativa
070/074	Areiópolis/São Manuel
070/075	São Manuel
070/076	São Manuel
071/074	Areiópolis/São Manuel
071/075	São Manuel
071/076	Botucatu/São Manuel
072/074	São Manuel
072/075	São Manuel
072/076	Botucatu/São Manuel
073/074	São Manuel
073/075	São Manuel
073/076	Botucatu/São Manuel
074/074	São Manuel
074/075	Botucatu/São Manuel
074/076	Botucatu/São Manuel
075/074	Botucatu/São Manuel
075/075	Botucatu/São Manuel
075/076	Botucatu
076/074	Botucatu
076/075	Botucatu
076/076	Botucatu

**Fonte:** SILVA (2011, p. 24).

### 3.2.2 Dados orbitais

Elaborou-se para a classificação do uso da terra, imagens do satélite Digital Globe, com mosaico de 17 de junho de 2016 e 21 de junho 2016. São imagens disponíveis no Google Earth para visualizar e navegar sobre a superfície da Terra, extraindo-se os dados relativos da sub-bacia, uso da terra, fragmentos florestais e relacionados com outros dados gerados.

### **3.3 Metodologia**

#### **3.3.1 Planos de informação**

##### *3.3.1.1 Rede de drenagem*

Utilizou-se as cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) para a obtenção das curvas de nível, com o distanciamento entre as curvas de 5m e da rede de drenagem em escala 1:10.000.

Estabeleceu-se a rede de drenagem através da classificação visual em tela programa ArcGis. Permitiu-se então, vetorizar a rede de drenagem da sub-bacia, atualizando a rede hidrográfica, com imagens de satélite de 2016

O mapa de limite da sub-bacia, também foi elaborado por meio de cartas planialtimétricas do IGC, gerado em ambiente SIG e depois modificado para outra extensão pelo programa Google Earth.

##### *3.3.1.2 Declividade*

Para desenvolver o mapa de declividades foram utilizadas: rede de drenagem, pontos cotados e curvas de nível,. Foi utilizado o programa ArcGIS para fazer a interpolação e gerar o modelo numérico de elevação (MNE). O método utilizado para transformar a vetorização, a fim de tornar a análise mais precisa, foi transformar um vetor em formato raster (grade).

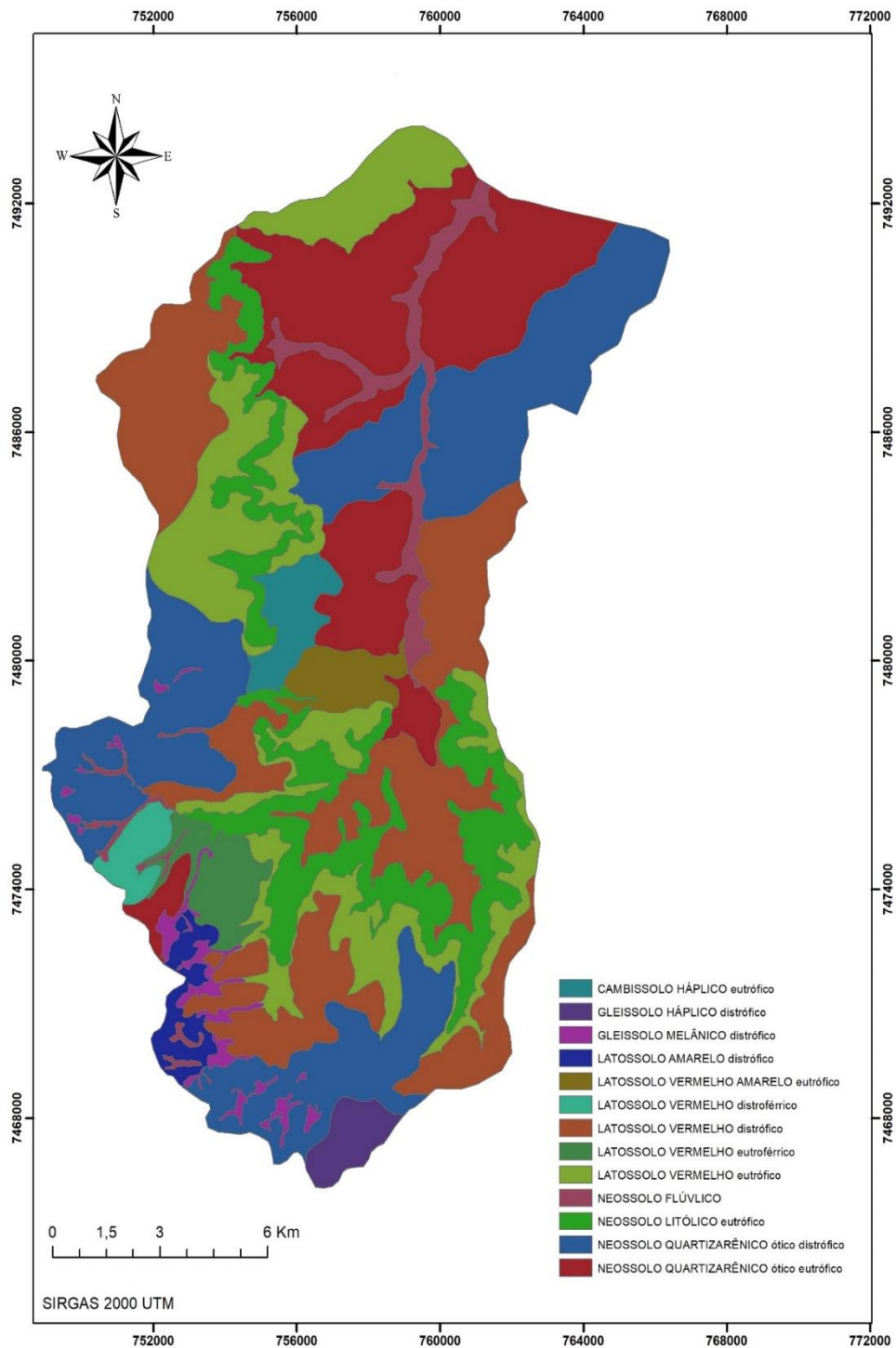
Primeiramente, foi gerado um modelo por triangulação, extraiu-se informações sobre sua área, seu volume e transformar para formato raster. No ArcToolBox, por meio da extensão 3D Analyst Tools, Analyst/Data Management/TIN/Create.

Depois, ainda no ArcToolbox, foi selecionado o diretório de dados Spatial Analyst Tools/Interpolation/Topo to raster. Então resultou-se um MNE, cujas células tem resolução de 5 metros cada uma.

### 3.3.1.3 Solos

A análise da coleta de amostras do solo foi feita na sub-bacia do Rio Aráquá por Silva (2011), por meio de técnicas de tradagem em campo, Figura 2.

**Figura 2 – Mapa de solos**



Fonte: Silva (2011).

#### *3.3.1.4 Potencial de infiltração*

A condutividade hidráulica foi fundamentada no mapa de solos da sub-bacia, de acordo com Silva (2011).

Gerou-se então o mapa do potencial de infiltração, a partir de dois elementos de ordem natural, a condutividade hidráulica e a declividade do terreno, por meio de métodos propostos por Gomes et al. (2002).

Classificou-se a condutividade hidráulica, em potencial baixo, médio e alto, para melhor compreensão a partir dos atributos de drenagem dos solos, que ampararam a especificação dos diversos tipos de solos da sub-bacia.

#### *3.3.1.5 Área variável de afluência (AVA)*

A AVA foi utilizada como um fator relevante na análise multicriterial. Para a definição das Áreas Variáveis de Afluência (AVA) ou o Índice Topográfico, foi utilizado o MNE (modelo numérico de elevação) raster em grade produzido a partir das informações digitalizadas das cartas planialtimétricas do IGC. Na perspectiva de obter-se um melhor resultado da modelagem hidrológica, o MNE produzido para a pesquisa foi elaborado em uma resolução de 5 metros para cada célula. Para que um modelo apresente resultados satisfatórios sobre a realidade a ser modelada, há a necessidade de que haja um MNE de boa qualidade, com boa resolução de detalhes (RAMOS, et. al., 2003). Xavier (2007) recomenda que a qualidade de resolução mínima deva ser de 50 metros para cada célula. Com o MNE calculado, o programa TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) 4.0.6 desenvolvido por David Tarboton na Utah State University (USA) para o SIG ArcGIS, foi utilizado para o cálculo do índice topográfico. O TAUDem é um programa livre que pode ser adquirido por meio de download diretamente no site da Utah State University (SILVA, 2011).

#### *3.3.1.6 Condutividade hidráulica*

Classificou-se o mapa de condutividade hidráulica na sub-bacia hidrográfica, por meio do mapa de solos, a partir das classes propostas por Gomes et. al. (2002) e

fundamentado nos detalhamentos de cada tipo de solo e da drenagem da área de estudo.

### 3.3.1.7 Fragmentos florestais

Extraíu-se do mapa de uso e cobertura da terra, somente a classe cobertura florestal. Assim, diferenciou-se esses fragmentos florestais e tiveram classificações peculiares no processo analítico.

### 3.3.2 Classificação da Paisagem

O uso da terra com características de paisagem tanto natural como artificial, são interpretadas por meio de imagens de satélite. Imagens não apontam ocupações de forma direta, assim várias análises e classificações foram necessárias para efetuar o estudo proposto. Primeiramente, foi feita a classificação supervisionada do uso da terra, no software ArcGis, para que pudessem ser classificados e verificados os atributos da paisagem. Depois, por meio do *Patch Analyst* - uma extensão do sistema de software ArcGIS - que facilita a análise espacial, as métricas de paisagem e a modelagem de atributos, foram iniciadas as configurações para que, em seguida, fossem escolhidas as métricas mais relevantes.

SI ou MSI (*mean shape index*): Indicador médio de forma, expressa o quanto a mancha é próxima de um círculo. Essa métrica efetua a soma do perímetro de todas as manchas e divide pelo quadrado da área da classe de uso. Basicamente expressa que quanto mais próximo de 1 for o valor, a forma da mancha é mais parecida com um círculo, de acordo com Vieira (2016).

Avaliando-se a forma de um fragmento, quanto mais próxima do valor de 1, mais aproxima-se do formato de um círculo, com uma geometria simples, propícia para a estruturação das espécies contidas no seu interior.

As métricas da forma foram quantificadas na composição da paisagem e forneceram sobre ela dados relevantes sobre a dinâmica de ecossistemas e populações. Pela comparação entre os tamanhos das manchas nas paisagens, foi possível ratificar quais as paisagens possuem menos e maiores fragmentos, em relação às outras.

Diversos processos ecológicos relevantes foram influenciados pela forma dos fragmentos de paisagem. A questão crucial em relação à forma, é o efeito de borda, onde aconteceram transformações abióticas (temperaturas elevadas e baixa umidade), biológicas diretas (transformações na quantidade de espécies e mudanças nas condições físicas das bordas) e biológicas indiretas (que envolvem mudanças nas interações ecológicas entre as espécies).

### **3.3.3 Análise Multicriterial**

Para calcular o peso para cada fator foi utilizado o processo de tomada de decisão conhecido como Análise Hierárquica Analítica (AHP - Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 e é o método de multicritério mais utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão em problemas com múltiplos critérios. Este método emprega uma comparação pareada entre fatores para determinar a importância relativa de cada um deles (CONINE et al., 2004; VALENTE e VETTORAZZI, 2005; TRAFICANTE, 2007).

Os pesos expressam a importância, ou ordem de importância, dos fatores no processo de tomada de decisão, e devem ser determinados a partir de estudos na literatura existente, por experiências em aplicações já realizadas ou, ainda, através da Técnica Participatória. Em trabalhos estudados por Valente (2005), vários autores propõem o emprego da Técnica Participatória, que consiste na reunião entre especialistas nas diferentes áreas de interesse ao projeto, para auxiliar na definição dos critérios (fatores) e dos respectivos pesos.

Os fatores foram gerados a partir do módulo de suporte à decisão do programa Idrisi Selva. Neste módulo, primeiramente, definiu-se o objetivo da análise, neste caso Conservação dos Recursos Hídricos. Os fatores gerados apresentaram uma escala contínua, que variou de 0 (zero) a 255 (duzentos e cinquenta e cinco), totalizando 256 valores, sendo o zero o valor de menor importância e o 255 o de maior importância. Após isto, selecionou-se o arquivo das restrições, ou seja, as áreas omitidas pela análise. Em sequência, foram gerados os fatores que integram a análise, cada um com um peso, compondo, segundo os critérios, as áreas prioritárias para a conquista do objetivo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Plano de informação**

Os planos de informação obtidos estruturam-se de maneira a auxiliar a elaboração dos fatores, cruciais à elaboração dos mapas finais de áreas prioritárias. Todo o banco de dados obtidos foi elaborado no Sistema UTM (Universal Transverso de Mercator) e no datum SIRGAS 2000.

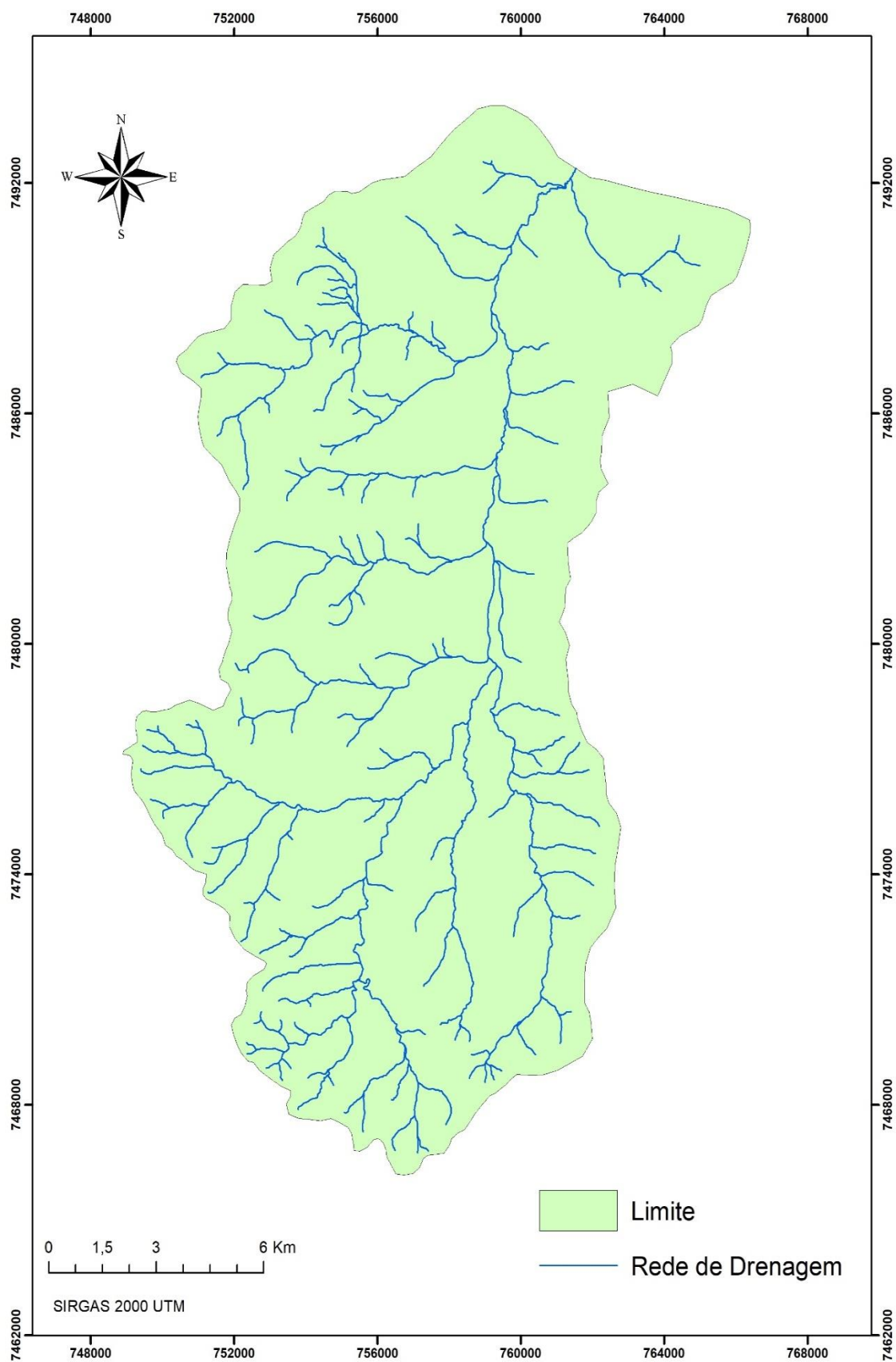
#### **4.1.1 Rede de drenagem**

A rede de drenagem da sub-bacia do Rio Araquá foi atualizada no programa ArcGis, por meio da classificação visual em tela (Figura 2).

Em 1980, a sub-bacia hidrográfica dispunha de uma rede hidrográfica em torno de 382 km. No ano de 2008, a partir de uma imagem orbital, foi identificado que esta sub-bacia possuía uma rede hidrográfica em torno de 270 km (SILVA, 2011). No presente trabalho foi feita a atualização da rede de drenagem com imagens de satélite de 2016 e foi constatada que continua com aproximadamente 270 km.

Ao comparar o trabalho de Silva (2011), entre 2008 à 2016, o tamanho da rede hidrográfica permaneceu o mesmo, pois as áreas de preservação permanente (APP) estão respeitadas adequadamente, conforme a legislação ambiental brasileira, possibilitando uma proteção na região de estudo.

Figura 3 - Rede de drenagem gerada por meio de uma imagem de satélite do ano de 2016

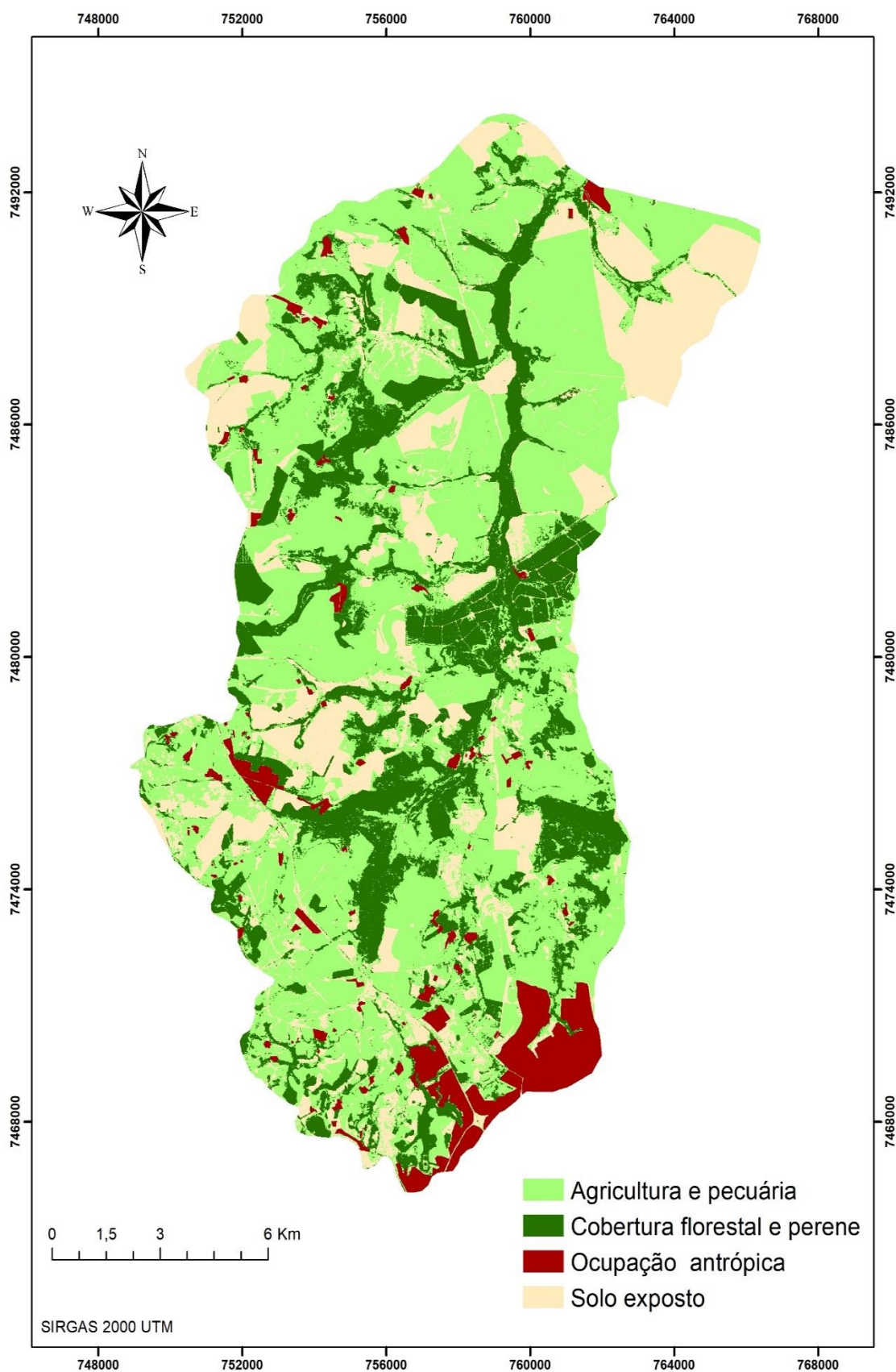


#### 4.1.2 Cobertura do uso da terra

Para elaborar o mapa de uso e cobertura da terra, realizou-se a interpretação visual da imagem orbital. Depois, foram feitas amostras para determinar as classes de uso, pela classificação supervisionada de máxima verossimilhança (MAXVER) nas imagens. Usou-se os índices Global e Kappa para validar essas classificações usadas, por meio de um paralelo com a interpretação visual da imagem orbital, demonstrando os erros e acertos. A análise de Kappa é uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da precisão temática e utiliza todos os elementos da matriz de confusão no seu cálculo. O coeficiente Kappa (K) é uma medida da concordância real (indicado pelos elementos diagonais da matriz de confusão) menos a concordância por chance (indicado pelo produto total da linha e coluna, que não inclui entradas não reconhecidas), ou seja, é uma medida do quanto à classificação está de acordo com os dados de referência. A distribuição da precisão ao longo das categorias individuais não é apresentada na precisão global, entretanto a precisão de uma categoria individual é obtida através da divisão do número total de amostras classificadas corretamente naquela categoria pelo número total de amostras daquela categoria.

O mapa de uso e cobertura da terra a partir da classificação supervisionada está representado na Figura 4. A partir da classificação supervisionada (MAXVER), as seguintes classes de cobertura do uso da terra foram quantificadas e expostas na Tabela 2.

**Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da terra a partir da classificação supervisionada, ano de 2016**



**Tabela 1 - Classes de uso e cobertura do solo, ano de 2016**

Classes de uso	Área (ha)
Agricultura e pecuária	14.268,8
Cobertura florestal e perene	6.211,4
Ocupação antrópica	1.613,1
Solo exposto	5.559,4

Por comparação de Silva e Zimback (2010), foi observado que, a cana-de-açúcar é a cultura que mais cresce nessa região. Esse cenário retrata a expansão dessa cultura em grande parte do interior do estado de São Paulo, que aumenta a cada ano e ocupa grandes áreas que antigamente eram destinadas a cobertura florestal.

Ainda por comparação com Silva (2011), verificou-se por meio da classificação do mapa de uso e cobertura da terra, que o uso mais acentuado foi a agricultura e pecuária. Houve um aumento de aproximadamente 25% nos últimos oito anos (entre 2008 e 2016) e aproximadamente 3 (três) mil hectares dessa cultura nessa área de estudo. Isso ocorreu, principalmente, pelo fato da sub-bacia localizar-se numa região próxima da produção de álcool e de uma usina de cana-de-açúcar.

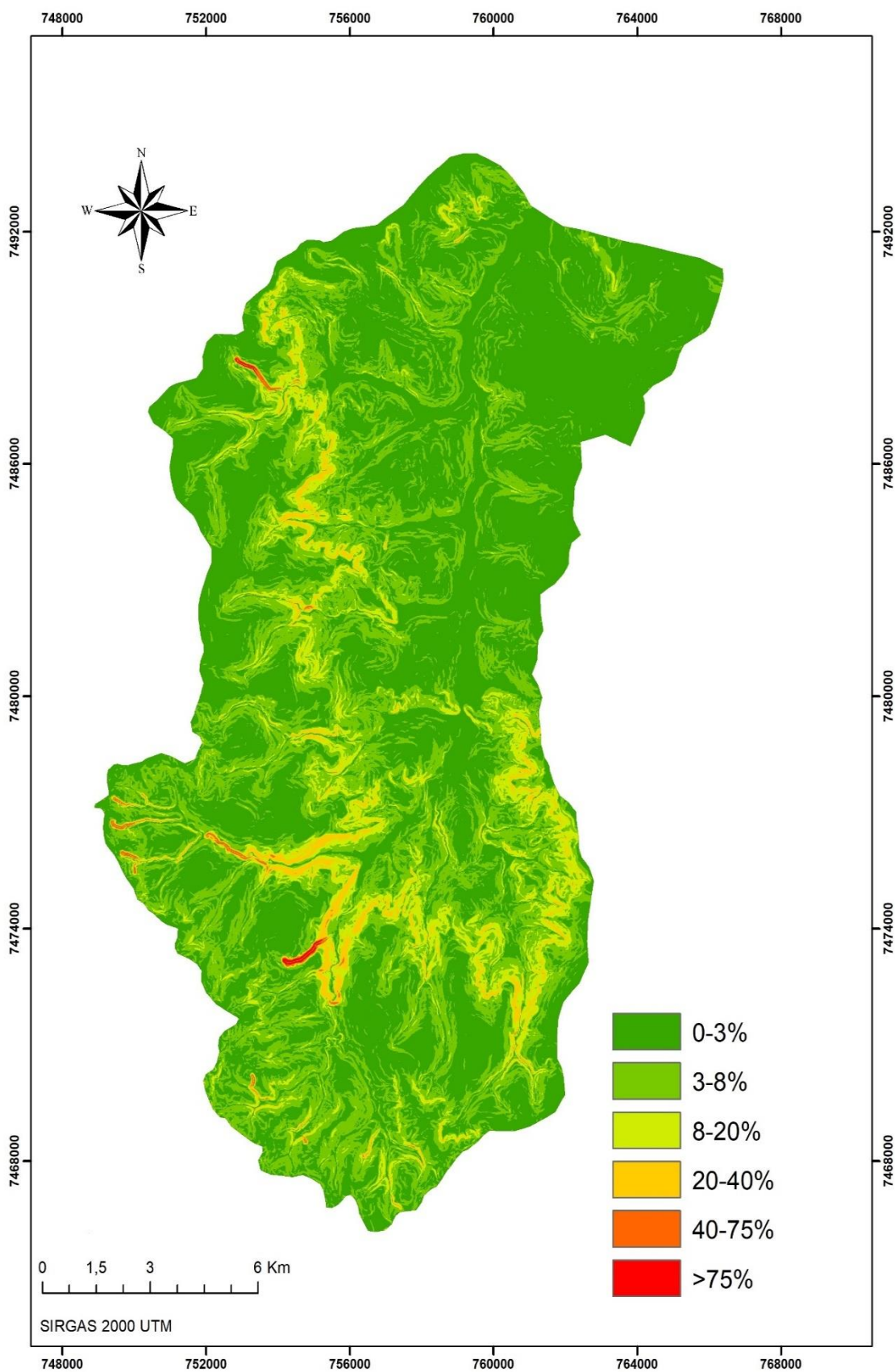
#### **4.1.3 Declividade**

A área de estudo tem o relevo característico de Cuesta. No mapa, as classes de declividade estão expostas de forma bem explícita. As classes prevaletentes nessa região, estão entre 550 a 800 metros e correspondem a classe de declividade ondulada 8-20%. Há áreas com declividades bem acentuadas, acima de 900 metros, com declividade de 0,074 ha, com declividade acima de 75%.

Há, portanto, uma dificuldade natural à ocupação do solo na zona do Front da Cuesta, devido à declividade ser muito acentuada nesta região e, por este fato, são as áreas que apresentam os maiores fragmentos florestais da sub-bacia.

As classes de declividades identificadas foram quantificadas e distribuídas na Figura 5 e na Tabela 2.

Figura 5 - Mapa de declividade



**Tabela 2 - Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)**

Classes de declividade (%)	Descrição Área (m <sup>2</sup> )	Área em relação à sub-bacia (%)
0-3% Plano	21.344,9	7,78
3-8% Suave ondulado	95.058,5	34,65
8-20% Ondulado	116.275,7	42,38
20-40% Forte ondulado	32.218,1	11,74
40-75% Montanhoso	8.662,8	3,15
>75% Escarpado	740,0	0,20

Fonte: SILVA (2011, p. 38).)

#### 4.1.4 Potencial de infiltração

O mapa e tabela de potencial de infiltração (Figura 6 e na Tabela 3) foram adaptações de Silva (2011).

**Tabela 3 - Potencial de infiltração do solo**

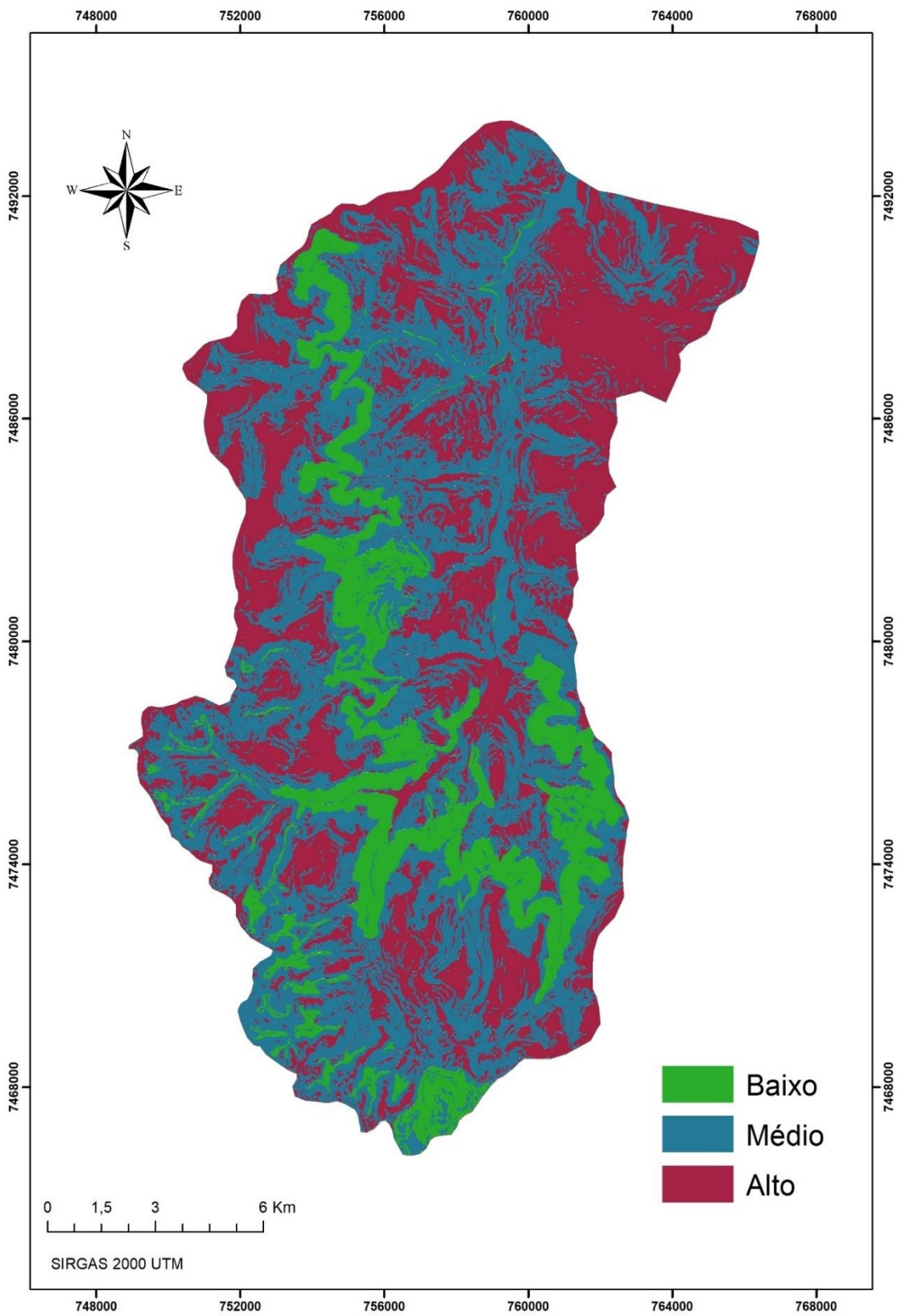
Condutividade hidráulica	Declividade do solo		
	< 3%	4 -8%	>8%
	(peso 3)	(peso 2)	(peso 1)
Alta (peso 3)	9	6	3
Média (peso 2)	6	4	2
Baixa (peso 1)	3	2	1

Fonte: SILVA (2011, p. 50)

Nota: O potencial de infiltração é alto para os valores 9 e 6 da Tabela. Para os valores 4 e 3, o potencial de infiltração é médio. Para os valores 2 e 1, o potencial de infiltração é baixo.

Como a condutividade hidráulica do solo é um parâmetro que traduz a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil do solo, para o desenvolvimento do mapa do potencial de infiltração, dois fatores de ordem natural foram levados em consideração, a condutividade hidráulica e a declividade do terreno, em uma metodologia adaptada a partir de métodos propostos por Gomes et al. (2002), Soares et al. (2007) e a partir das características de drenagem dos solos descritas por Lemos e Santos (1996), que auxiliaram a classificação dos diferentes tipos de solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, em alto, médio e baixo potencial de condutividade hidráulica.

Figura 6 - Mapa de Potencial de infiltração



Fonte: adaptação da metodologia proposta por Gomes et. al. (2002) e Silva (2011).

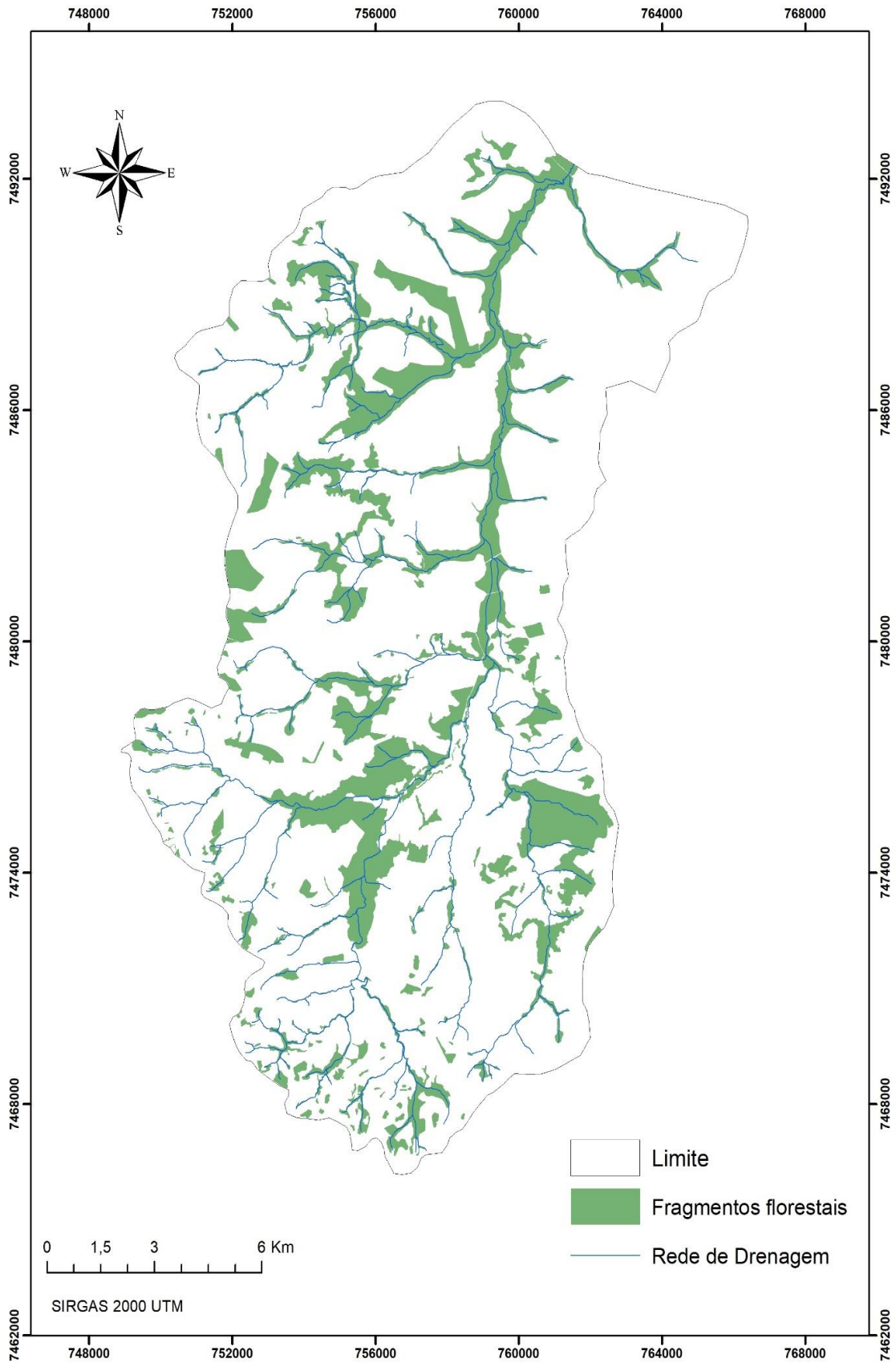
#### 4.1.5 Fragmentos florestais

Foi gerado um mapa somente com os fragmentos florestais da sub-bacia do Rio Araquá para fazer a análise de paisagem e análise multicriterial. Há diversos fatores que afetam diretamente os fragmentos florestais, como forma, tamanho, isolamento, perturbações e particularidades de vizinhança. Essas causas determinam o controle de mortalidade e natalidade de espécies, acarretando o efeito de borda, as relações entre os organismos e o surgimento de mutações gênicas.

Neste trabalho, foi analisado somente a forma dos fragmentos florestais para estimar o número de espécies que cada fragmento abriga de acordo com a sua complexidade geométrica. Em um estudo feito por Viana et al (1998) na região de Piracicaba, observou-se que fragmentos arredondados (fator forma  $>0,8$ ) eram menos susceptíveis ao efeito de borda.

Em geral, grandes territórios abrigam uma extensa quantidade de organismos por serem bem estruturados. Mas nem sempre isso é o suficiente para ser um bom indicador, pois deve-se analisar a disponibilidade de água, qualidade dos mananciais, perturbações nos fragmentos e o efeito de borda. Assim, tem-se um maior controle para manter os ecossistemas equilibrados por mais tempo. Na Figura 7, estão representadas as áreas de fragmentos florestais.

Figura 7 - Mapa de fragmentos florestais da sub-bacia do Rio Araquá



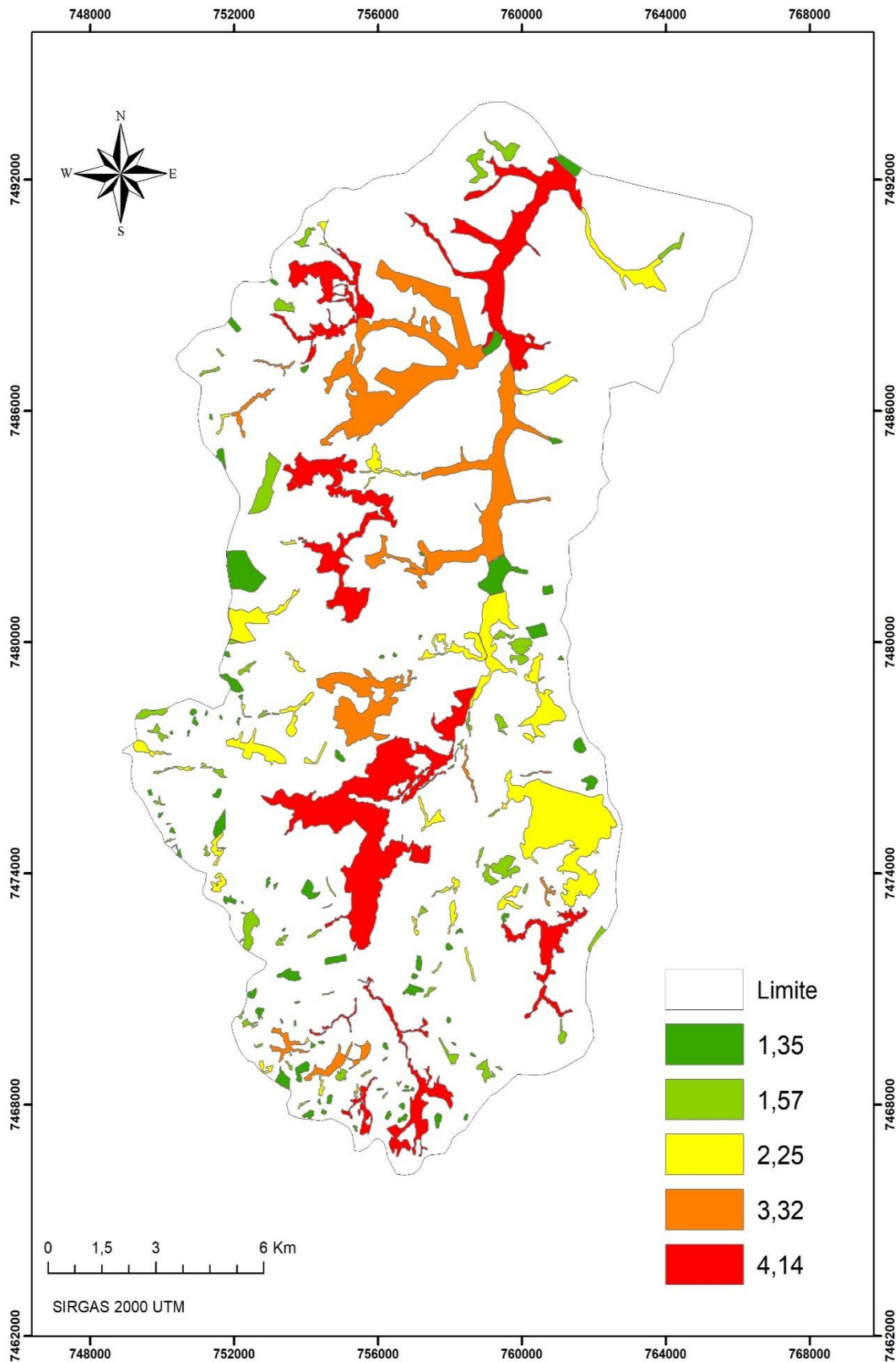
#### 4.1.6 Análise da paisagem

Para a elaboração do mapa de análise da paisagem quanto à forma das manchas ou fragmentos, usou-se o mapa de fragmentos florestais. O índice escolhido foi o MSI ou SI, em relação à forma.

As formas circulares sofrem um menor efeito de borda, pois contém um maior número de espécies em seu interior por apontarem áreas de núcleo mais uniformes e maiores. No entanto, mais sujeito a interferências externas ocorre quanto maior a complexidade da forma e quanto maior o índice. Na Figura 8, estão expostas a classificação dos valores do índice quanto à forma em classes e na tabela 5, estão os valores de área para cada classe classificada.

Em um estudo feito por Viana et al (1998) na região de Piracicaba, observou-se que fragmentos arredondados (fator forma  $>0,8$ ) eram menos susceptíveis ao efeito de borda. Cerca de 51,9% podem ser considerados alongados ( $0,8 >$  fator de forma  $>0,6$ ). Cerca de 35% podem ser considerados muito alongados (fator de forma  $<0,6$ ), mais sujeitos ao efeito de borda. Trata-se de uma categorização preliminar, que nos fornece uma hipótese para testes empíricos. Apesar do seu caráter preliminar, é clara a importância desse parâmetro na definição de estratégias conservacionistas.

**Figura 8 - Mapa gerado a partir do índice SI em Análise de ecologia da paisagem**



**Tabela 4 - Valores de área em relação à forma para cada classe classificada por meio de análise de paisagem**

Classes	Fator SI	Área (m <sup>2</sup> )
1	1,35	4198379,05
2	1,57	3542159,50
3	2,25	10981458,11
4	3,32	13294951,95
5	4,14	20686474,86

## 4.2 Análise multicriterial

### 4.2.1 Decisão dos critérios

Decididos os critérios: proximidade à rede de drenagem; análise da forma da mancha para análise da paisagem, potencial de infiltração; AVA e proximidade entre os fragmentos florestais, obteve-se os fatores descritos abaixo.

### 4.2.2 Fatores

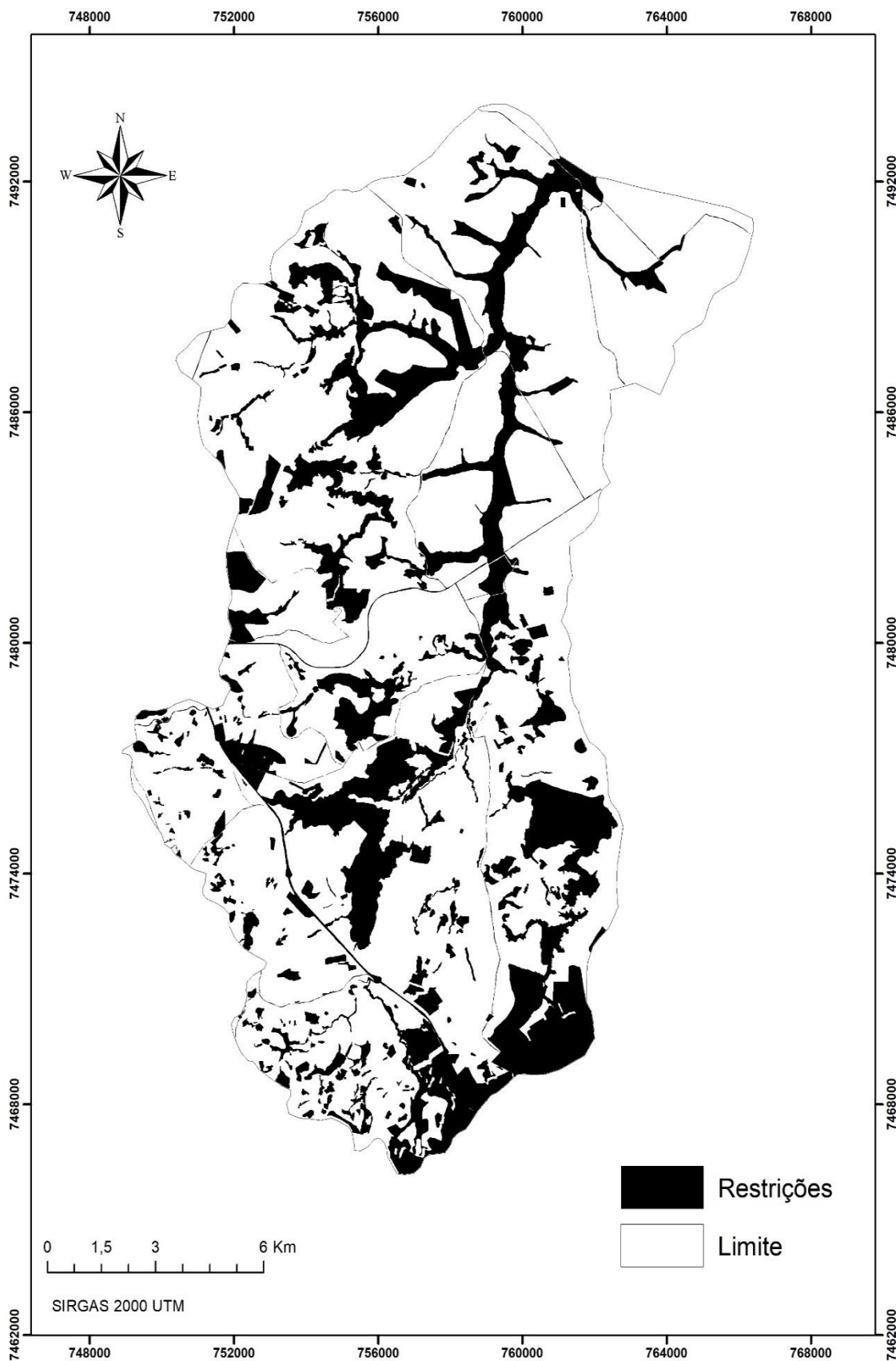
Estabeleceu-se para cada fator a distância máxima, de forma que fosse apenas o bastante para encobrir toda a área para a análise de distância. Apresentou-se uma melhoria na apuração e disposição dos valores das áreas prioritárias para cada fator. Este método resumiu-se em gerar valores aleatórios de modo que toda a área pudesse ser avaliada, mas, sem exceder os limites da sub-bacia, conservando os valores o mais próximo do limite. Por isso houveram alguns fatores com um valor maior na avaliação de distância, pelo fato de concentrarem-se em áreas peculiares da sub-bacia e precisarem de um valor maior para ocupar toda a sua totalidade.

Para o objetivo estabelecido gerou-se os Fatores na ordem de importância: proximidade à rede de drenagem; análise da forma da mancha para análise da paisagem, potencial de infiltração; AVA e proximidade entre os fragmentos florestais.

### **4.2.3 Restrições**

Foi gerado o mapa de restrições em que se definiu as áreas que foram mascaradas na análise multicriterial. As áreas em que há cobertura florestal e ocupação antrópica estabelecida não foram determinadas como áreas suscetíveis de recuperação ambiental propondo à conservação da água, pelo fato de já possuírem vegetação ou pelo reflexo da expansão urbana consolidada que impedem o uso para esta finalidade. As estradas e habitações rurais estão inclusas na classe ocupação antrópica. Para a Avaliação Multicriterial considerou-se também as áreas externas à sub-bacia como restrições. As restrições dentro da sub-bacia estão demonstradas na Figura 9.

Figura 9 - Mapa com os critérios de restrições da sub-bacia



#### 4.2.4 Decisão dos pesos dos fatores

Aplicou-se o Método de Comparação Pareada por meio de uma Matriz para a decisão dos pesos dos Fatores. Em busca de uma disposição nos pesos finais dos fatores, foram estabelecidos valores para cada comparação entre esses fatores, de forma que verificasse consistência na matriz, com os pesos dos fatores da análise. (Tabela 5).

**Tabela 5 - Peso dos Fatores na Análise Multicriterial**

Fatores	AVA	Fator SI	Potencial de infiltração	Vegetação	Drenagem	Pesos
AVA	1	-	-	-	-	0.0763
Fator SI	3	1	-	-	-	0.2661
Potencial de infiltração	5	1/3	1	-	-	0.1685
Vegetação	1/3	1/7	1/3	1	-	0.0416
Drenagem	5	3	3	7	1	0.4476
Taxa de Consistência (TC) = 0.09						1.0000

Nesta fase do processo, a ordem dos fatores quanto ao peso de definição, por meio da Matriz de Comparação Pareada, apresentou taxa de consistência admissível abaixo de 0,10. Atribuiu-se o maior peso ao fator mais relevante, em seguida, o segundo maior peso apresentou-se o segundo fator mais importante, e assim por diante, até que chegou-se ao menor peso atribuído do fator com menor relevância.

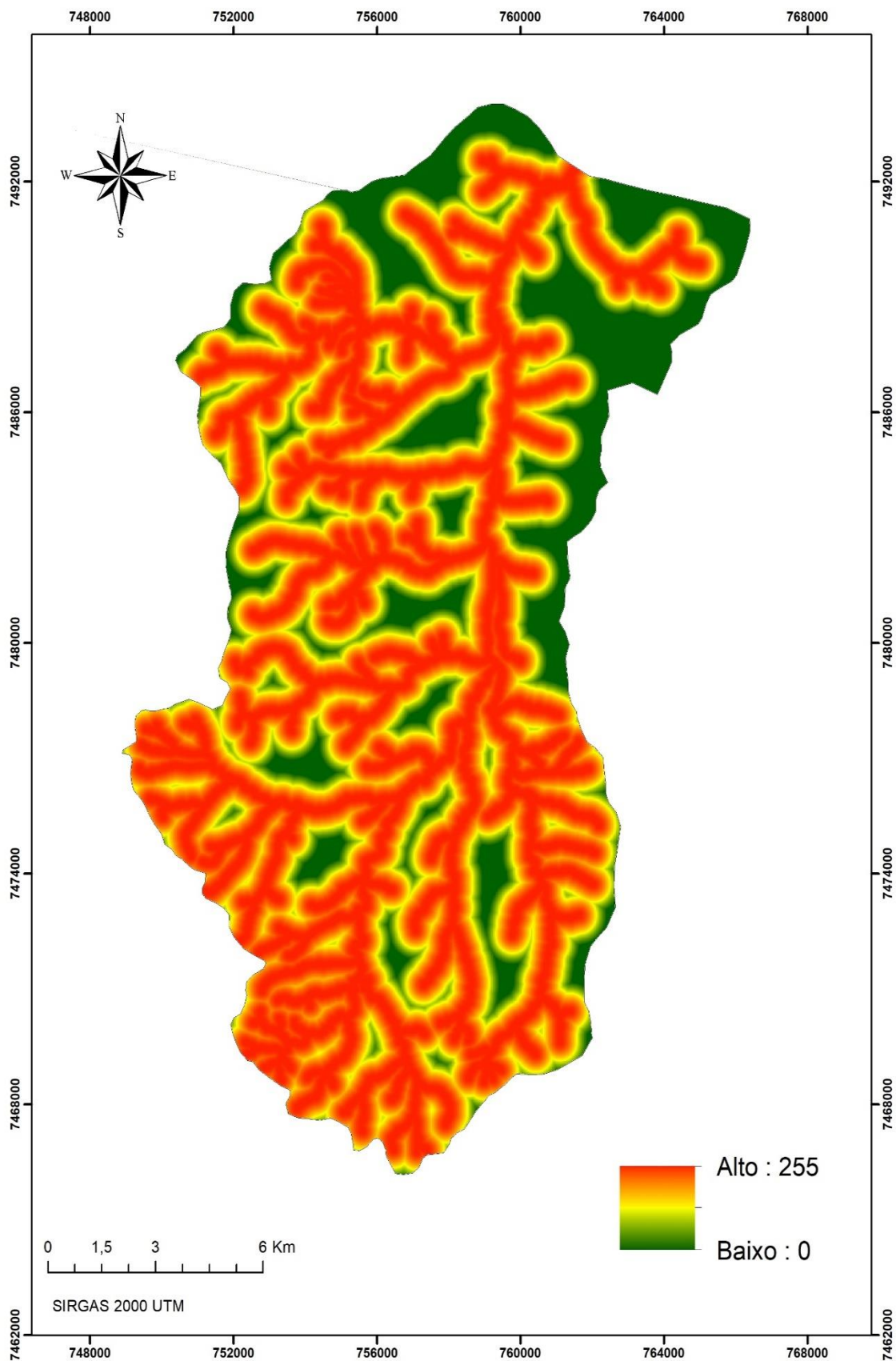
#### 4.2.5 Fator Proximidade à Rede de Drenagem

Determinou-se a distância dos corpos d'água, no mapa de proximidade da rede hidrográfica a partir do plano de informação rede de drenagem. Dessa forma, foram determinadas as distâncias apenas dentro dos limites da sub-bacia do Rio Araquá. Na

Figura 10, o Fator normalizou-se (escala 0 – 255 bytes) com uma função linear decrescente. Por conseguinte, gerou-se valores aproximados e/ou iguais a 255 quanto mais perto da rede hidrográfica.

Este fator foi escolhido devido a sua importância na conservação dos recursos hídricos. Pode-se afirmar que quanto mais próximo à rede de drenagem mais importante é a consolidação de vegetação nativa, que protege as águas superficiais da contaminação por sedimentos e por materiais derivados da ação antrópica direta ou indireta. Estas áreas são prioritárias à conservação dos recursos hídricos e este mapa de fator vem em primeiro na ordem de importância da regra de decisão estabelecida para este estudo.

Figura 10 - Fator Proximidade à Rede de Drenagem da sub-bacia do Rio Araquá

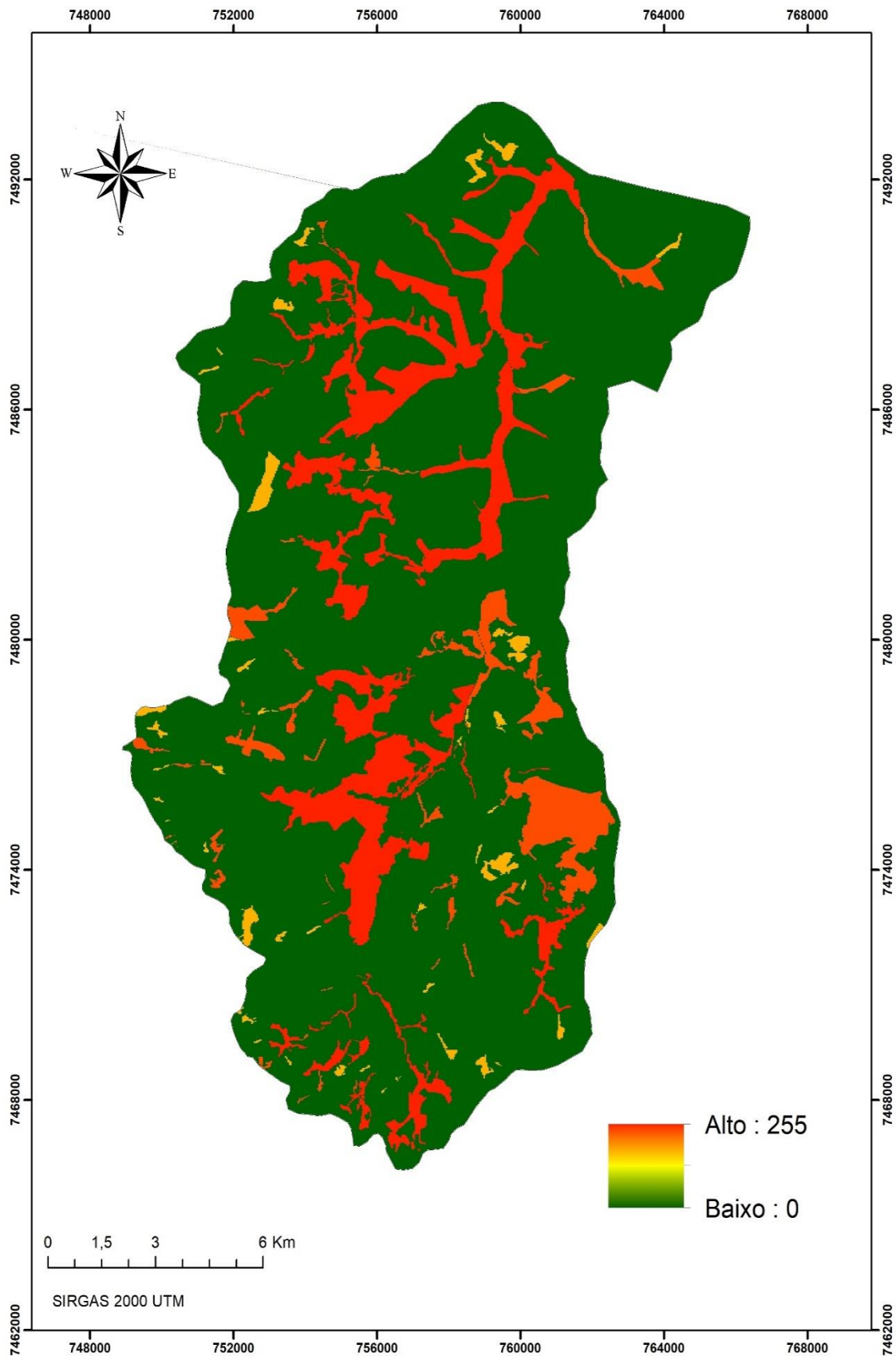


#### **4.2.6 Fator da análise da paisagem quanto à forma**

Para a obtenção do fator de forma (Figura 11), priorizou-se as áreas de cobertura florestal, com classificação quanto à forma dos fragmentos. Extraído do mapa de uso de cobertura da terra embasado do plano de informação Fragmentos Florestais, obteve-se um mapa com classes de classificação das diferentes formas de fragmentos na sub-bacia. Delimitou-se o limite da sub-bacia e, em seguida, normalizou-se (na escala de 0 a 255 bytes) com uma função linear decrescente.

Desse modo, garantiu-se que quanto maior o efeito de borda, mais próximo de 255 será o seu valor nessa escala.

Figura 11 - Fator da forma, em relação à análise da paisagem



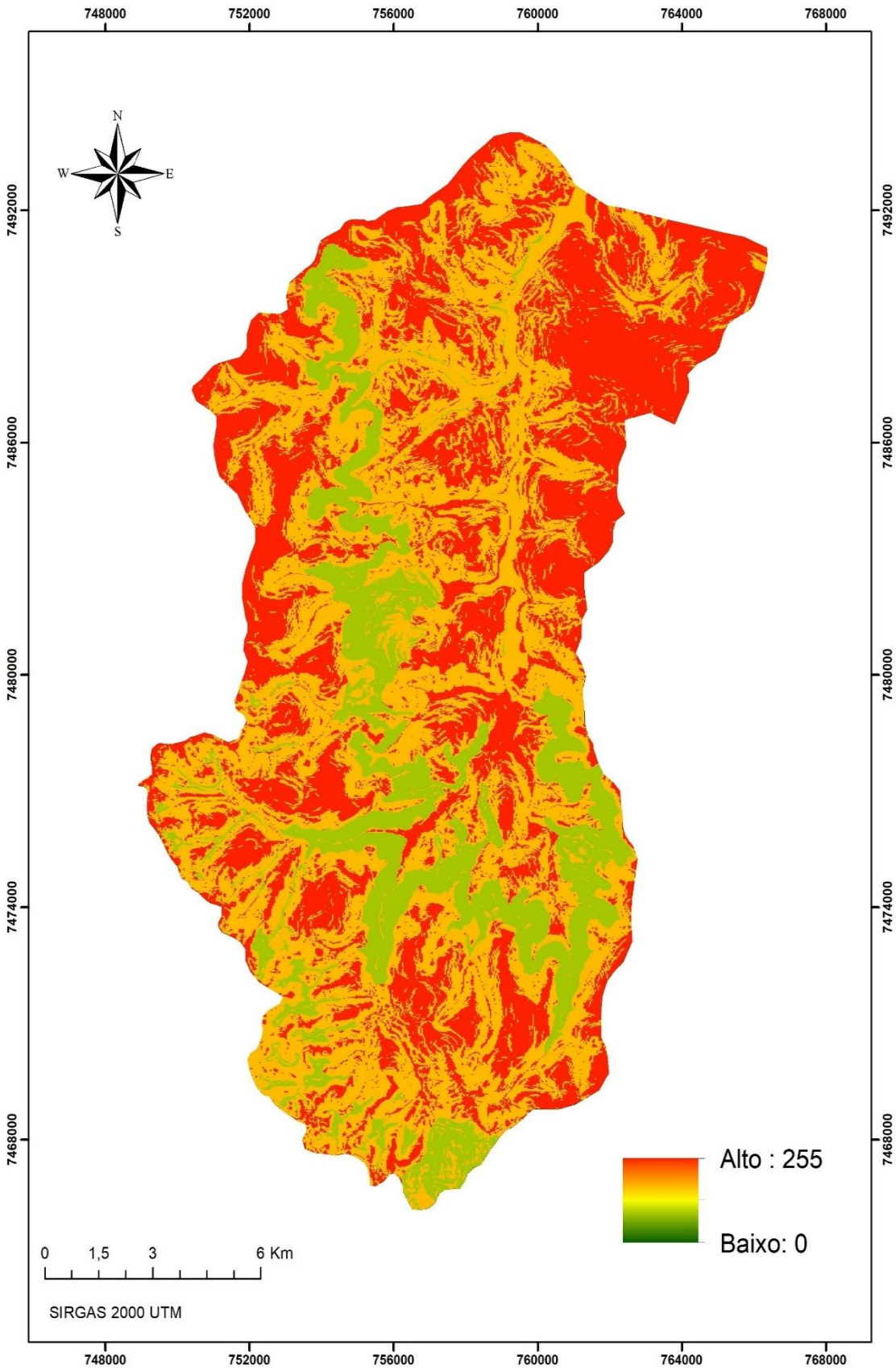
#### 4.2.7 Fator Potencial de infiltração

Gerou-se o fator por meio de um mapa classificado em três categorias de potencial de infiltração: 1, 2 e 3, respectivamente, baixo, médio e alto potencial. Normalizou-se a escala de 0 a 255 bytes com uma função linear decrescente. Áreas com maior potencial à infiltração, apresentaram valores mais próximos de 255.

A cultura mais expressiva nesta área de estudo foi a cana-de-açúcar. Mesmo que a capacidade de infiltração seja pequena, a gestão inadequada dessa cultura, sem as práticas apropriadas de preservação do solo, pode trazer a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial, elevando as ameaças de erosão. Para minimizar as falhas consequentes do plantio de culturas anuais, pode-se usar técnicas como o plantio direto e terraceamento (TUCCI; CLARKE, 1997).

Quanto maior a infiltração menor será a declividade do terreno. Assim, há áreas de alta infiltração por todo o território dessa região, porém são mais encontrados à sudoeste na Depressão Periférica (SILVA, 2011). Na Figura 12, o mapa de fator apresenta as áreas de potencial de infiltração.

Figura 12 - Fator do Potencial de infiltração



#### 4.2.8 Área variável de afluência (AVA)

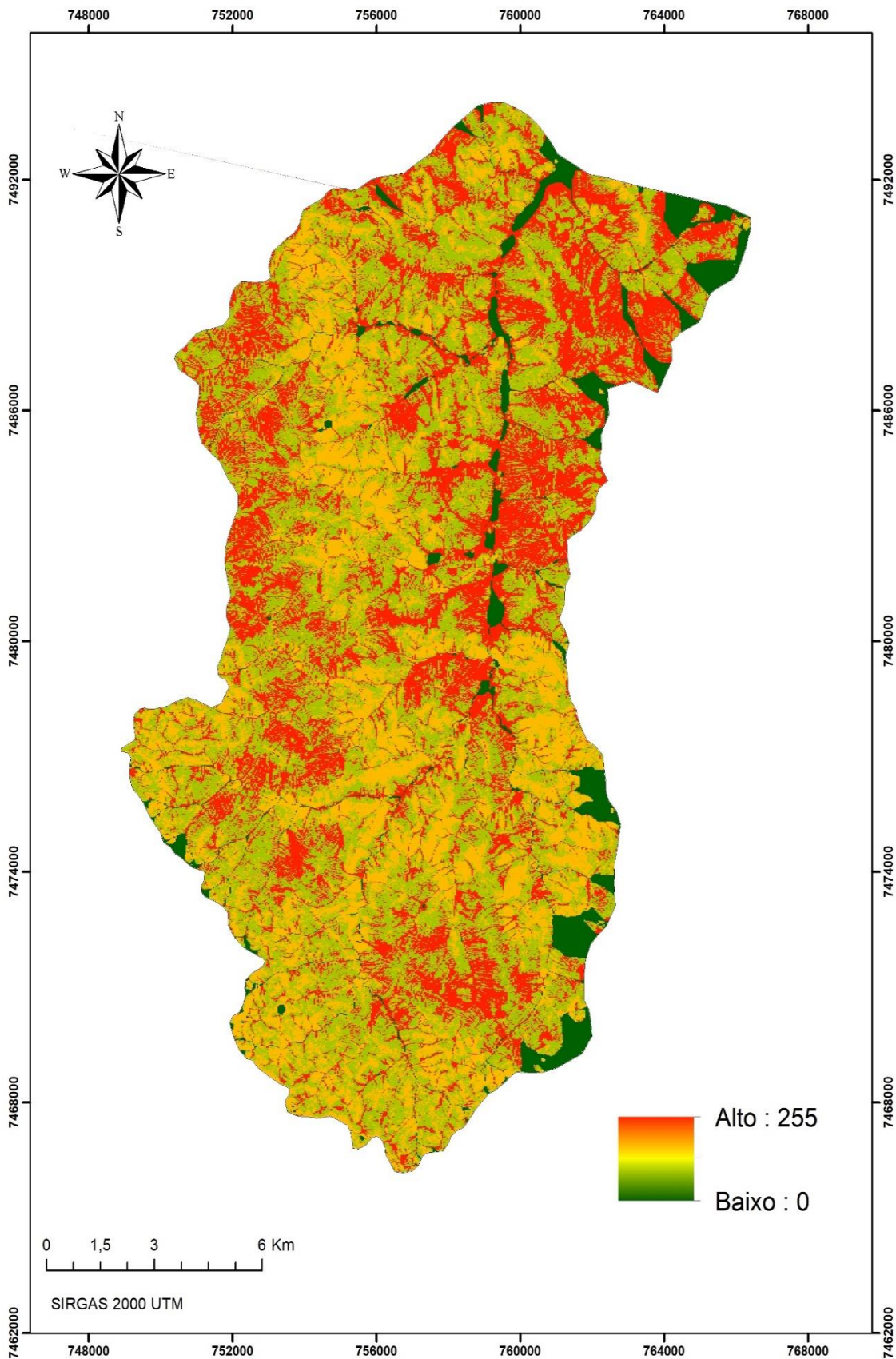
Determinou-se as áreas de variáveis de afluência, no mapa AVA, a partir do plano de informação declividade. Possibilitou-se determinar as áreas apenas dentro dos limites da sub-bacia do Rio Araquá. Na Figura 13, o Fator foi normalizado (escala 0 até 255 bytes) com uma função linear decrescente. Dessa forma, gerou-se valores aproximados e/ou iguais a 255 quando apresentam áreas relevantes de AVA.

A AVA representa cerca de 30% da área total da sub-bacia. Dessa forma, não é muito expressiva na zona do Front da Cuesta e não contribui significativamente nessa área.

O Front da Cuesta possui relevo mais acidentado e formato côncavo de acordo com Silva (2011), determinar o parâmetro área de contribuição foi de extrema importância uma vez que nestas áreas, principalmente nas porções côncavas do relevo, há potencial de saturação e, conseqüentemente, maior instabilidade do terreno.

As classes de AVA com níveis de prioridades alta, são de grande importância e há necessidade de recomposição da mata nativa que encontram-se ausente.

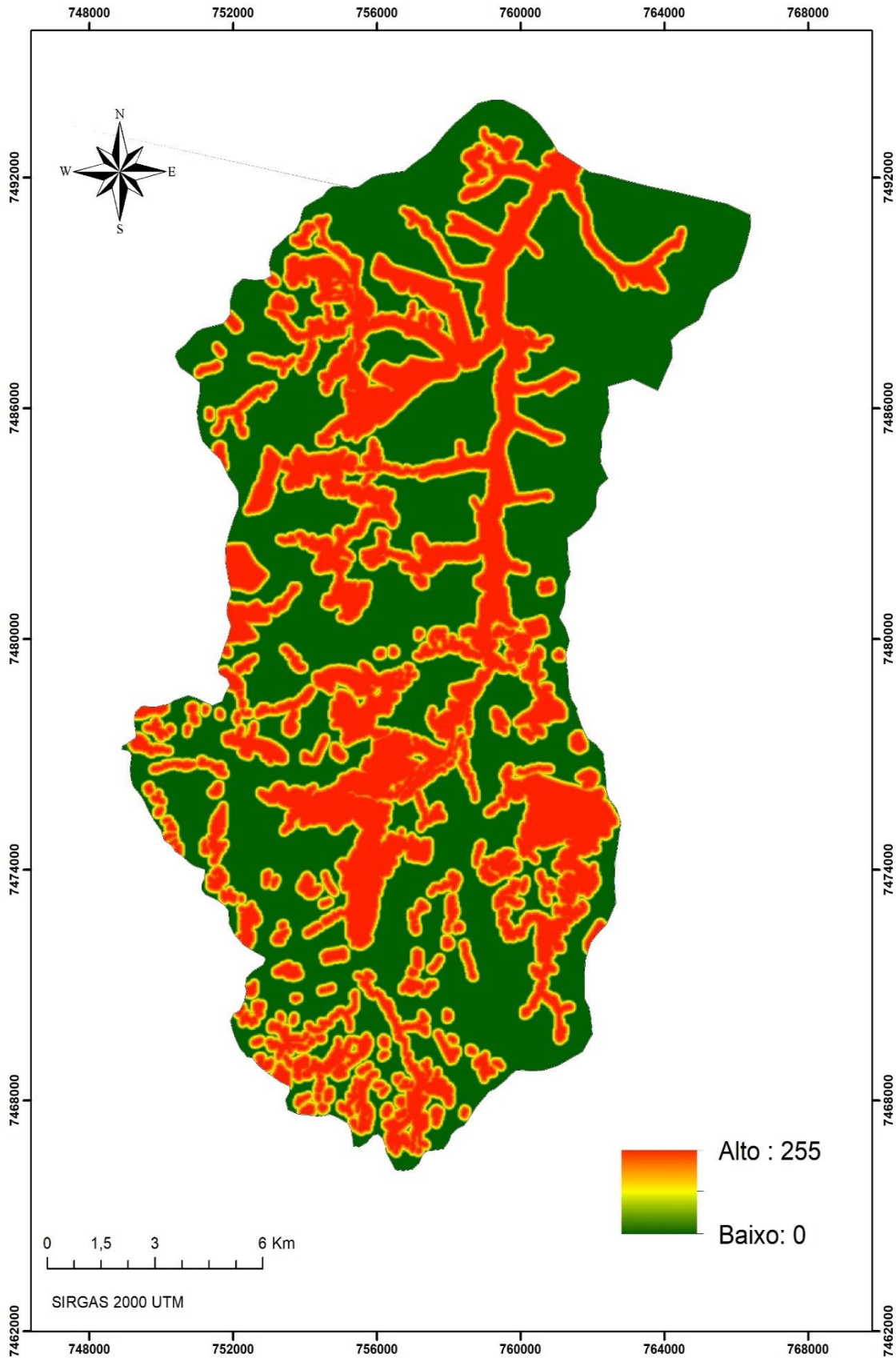
Figura 13 - Fator de áreas de variáveis de afluência (AVA)



#### **4.2.9 Fragmentos Florestais**

Para a obtenção do mapa (Figura 14), priorizou-se as uniões entre os fragmentos florestais, com tamanhos variados. Extraído do mapa de uso de cobertura da terra embasado do plano de informação Fragmentos Florestais, obteve-se um mapa com as distâncias entre os fragmentos. Associou-se ao limite da bacia e, logo depois, normalizou-se (escala 0 a 255 bytes) com uma função linear decrescente. Desse modo, garantiu-se que quanto maior a importância da distância, mais próximo à cobertura florestal. Assim, as áreas que estão em vermelho no mapa devem ser preservadas, pois contém um maior número de espécies de organismos, APPs e corpos d'água.

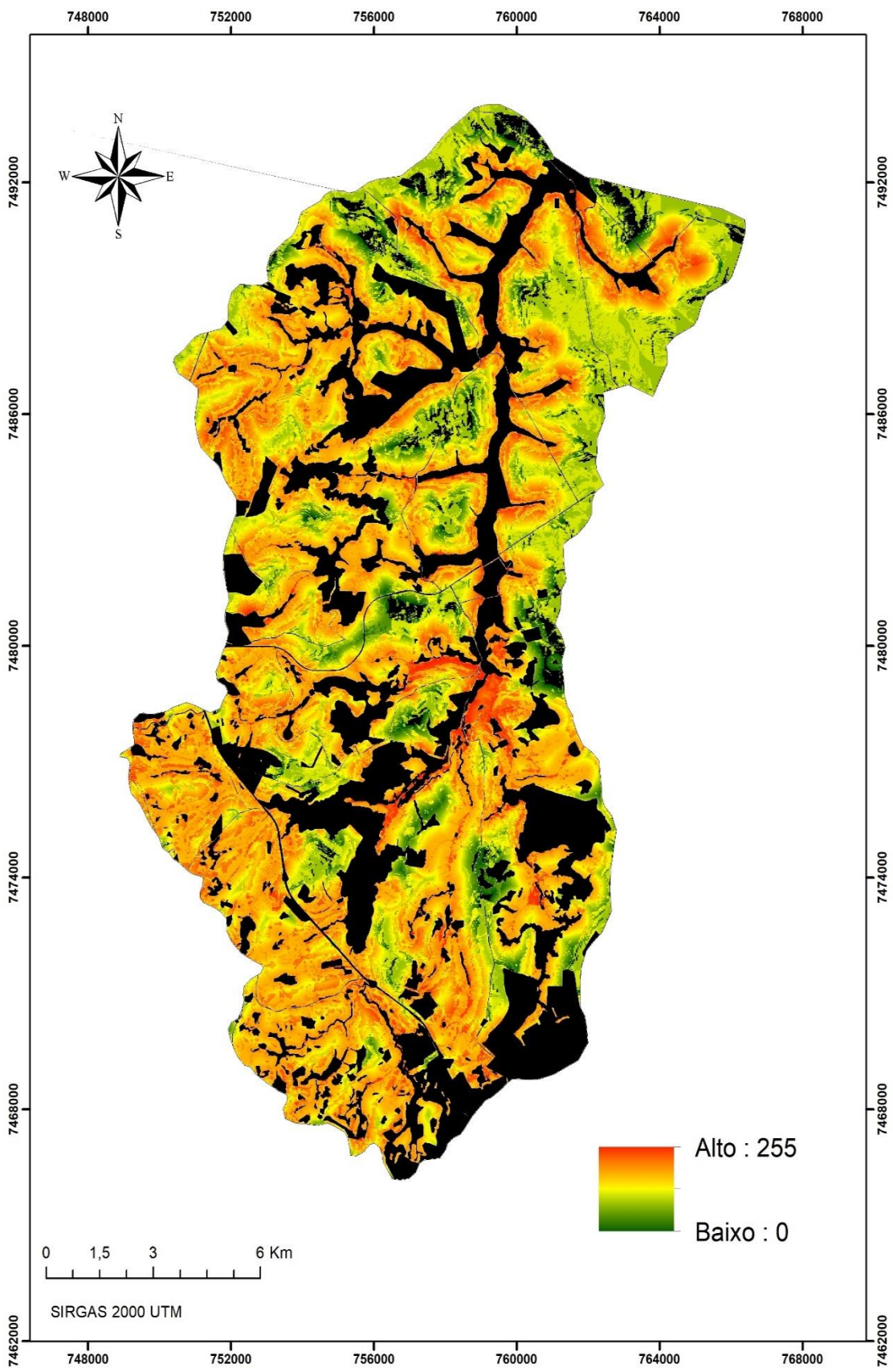
**Figura 14 - Fator Proximidade e distância entre os Fragmentos Florestais da Sub-Bacia do Rio Araquá**



### 4.3 Conexão florestal

No mapa gerado pela CLP (Figura 15), percebe-se claramente a interferência dos fatores de proximidade entre fragmentos de maior área nuclear e proximidade da cobertura de vegetação nativa nessas áreas, pois na análise, foram os fatores com os maiores pesos de compensação. As áreas mais críticas estão em vermelho, que devem ser recuperadas e preservadas para não haver impactos irreversíveis.

Figura 15 - Mapa de conexão florestal pelo análise CLP



Ao observar o mapa de conexão florestal, notou-se que as áreas mais críticas estão próximas à cobertura florestal, onde a conexão dos fragmentos são afetadas por ocupação antrópica e pela agricultura, que cresce a cada ano. É também, a área que apresenta mais efeitos de borda, de acordo com a classificação da análise de paisagem.

A AMC foi efetiva no presente estudo, uma vez que determinou as áreas mais favoráveis à infiltração, as regiões que devem ser preservadas, outras que devem ser recuperadas e planejadas para não expandirem, principalmente em áreas com monoculturas e ocupações antrópicas.

Para a recuperação dessas áreas e voltar ao ecossistema original, é praticamente impossível, mas pode-se retroceder alguns processos ecológicos, perda de habitats e reduções populacionais.

Com o auxílio de geotecnologias, observa-se com mais clareza onde há problemas, perturbações antrópicas, áreas afetadas, como áreas com ocupação antrópica, que estão em preto, áreas mais favoráveis à infiltração e desmatamento, indicadas em vermelho na Figura 15. Implementar métodos e avaliações, de forma a colaborar com as análises e soluções para a recuperação da região, é fundamental.

As análises de vários fatores, apresentaram resultados satisfatórios. O objetivo é avaliar a importância da área em relação aos recursos hídricos e, assim, definir estratégias de conservação e fazer uma aplicação adequada desses recursos. Esta aplicação adequada é uma forma de fazer a gestão da área, sem que haja degradação ou perturbações ambientais.

As ações para recuperação dessas áreas, devem adaptar-se à realidade e avanço do meio urbano, relacionando às transformações e aprimoramento da legislação, o uso consciente do solo e dos recursos hídricos, que levam à questões sobre os métodos e conceitos de restauração. A atual conjuntura, destituiu-se de ferramentas que façam com que as florestas sejam atrativas, na perspectiva ecológica, social e econômica.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos diagnósticos e estudos ambientais na sub-bacia do Rio Araquá pôde-se concluir:

- a) o sensoriamento remoto foi imprescindível para caracterizar o uso e cobertura do solo e confecção da análise da paisagem;
- b) os critérios utilizados foram os planos de informação AVA, potencial de infiltração, fragmentos florestais e rede de drenagem;
- c) a análise da paisagem definiu as áreas que apresentam maior efeito de borda, que está sujeita a interferências externas e a possíveis perturbações;
- d) a análise de Combinação Linear Ponderada é maleável, fácil de ser executada e possibilita a relação de conhecimentos e de atributos da paisagem, estabelecidos para o procedimento de tomada de decisão;
- e) a Avaliação Multicriterial foi apropriada aos mapeamentos de áreas prioritárias a restauração florestal em bacias hidrográficas, objetivando a conexão entre os fragmentos florestais.

## REFERÊNCIAS

- AI-ADAMAT, R.; DIABAT, A.; SHATNAWI, G. **Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan**. *Journal of Arid Environments*, Chubut, v. 74, p. 1471-1477, 2010.
- ALMEIDA, J. R. et al. **Política e planejamento ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro. 2004.
- ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. p. 206.
- BARBOSA, C. B. **Diagnóstico Socioambiental na Porção Mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguary**. Relatório de Atividades, Fapesp, 2007.
- BARBOSA, J. E. C. **Usos do solo e impactos socioambientais nas bacias hidrográficas dos Rios Camanducaia e Jaguary**. Juiz de fora/RJ. 2009. p. 5-7.
- BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. **Dimensões humanas do uso e cobertura das terras**. 2007.
- BAUMGARTNER, M.F.; APFL, G.M. **Remote Sensing and Geographic Information Systems**. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 41, n. 4. 1996. p. 592-607.
- BECK, M. B. **Water quality modeling: a review of the analysis of uncertainty**. *Water Resour.* 1987. p. 1393–1442.
- BEVEN, K. J. **Environmental Modelling: An Uncertain Future?** Routledge, London. 2009.
- BEVEN, K., BINLEY, A. **The future of distributed models: model calibration and uncertainty predication**. *Hydrol. Process.* 1992. p. 279–298.
- BORNIA, A. C.; WERNKE, R. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**. FIECAP/FEA – USP. v.14, n. 25, p. 60-71, jan./abr. 2001.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- BRITO, M. G.; COSTA, C. N.; ALMEIDA, J. A.; VENDAS, D.; VERDIAL, P. H. **Planning Landscape with Water Infiltration. Empirical Model to Assess Maximum Infiltration Areas in Mediterranean Landscapes**. 2006.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L.C. **Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal**. *Revista Árvore*, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. (Preliminar da Tese de Doutorado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

CAMPANILI, M. **No Brasil há Déficit em Meio à Abundância**. O Estado de São Paulo, São Paulo, 16. Mar. 2003. Disponível em: <<http://www.estadão.com.br/ext/ciencia/agua/aguanoplaneta>>. Acesso em: 26 abr. 2011.

CAREY, R.O. et al. **Evaluating nutrient impacts in urban watersheds: Challenges and research opportunities**. *Environmental Pollution*, v.173, p. 138-149, 2013.

CARLE, M.V.; HALPIN, P.N.; STOW, C.A. **Patterns of watershed urbanization and impacts on water quality**. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, n.3, p.693-708, 2005.

CARVALHO, W. A.; JIM, J. **Áreas de proteção ambiental: Região da “Serra de Botucatu” e Região da “Serra de Fartura”**. Botucatu: Instituto Básico de Biologia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1983. p. 47.

CRAWSHAW, D.; DALL’AGNOL, M.; CORDEIRO, J.L.P.; HASENACK, H.; **Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem**. Associação Brasileira de Geógrafos, Seção Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil, 2007

**Characterization of maximum infiltration areas using GIS tools**. *Engineering Geology*, Milano, n. 85, p. 14-18, 2006.

CHRISTOF EBERT, CASIMIRO HERNANDEZ PARRO, ROLAND SUTTELS, HARALD KOLARCZYK. **Improving validation activities in a global software development**. *Proceedings of the 23rd International Conference on Software Engineering*. Pages 545-554, 2001

CHRISTOFOLETTI, A. **A modelagem de Sistemas Ambientais**. IGCE. Unesp. Ed.Edgard Blücher Ltda, 1999.

CLOKE, H. L., PAPPENBERGER, F. **Ensemble flood forecasting: a review**. *J. Hydrol.* 2009. p. 613–626.

CLOKE, H.L., PAPPENBERGER, F., RENAUD, J.P. **Multi-method global sensitivity analysis (MMGSA) for modeling floodplain hydrological processes**. *Hydrol. Process.* 2007. p.1660–1674.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo a Hidrologia**. Porto Alegre: IPH, UFRGS, 2010.

COSTA, Helder Gomes. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói: H.G.C., 2002.

CRONIN, A.A. et al. **Temporal variations in the depth-specific hydrochemistry and sewage-related microbiology of an urban sandstone aquifer, Nottingham, United Kingdom.** Hydrogeology Journal, v. 11, n. 2, p. 205–216, 2003.

CUARTERO, A. et al. **Análises del error em modelos digitais de elevaciones según la fuente de datos.** XII Congresso Internacional de Espresión Gráfica, Badajoz, 2001.

DIAS, J.E.; GOMES, O.V.O.; RODRIGUES, A.F.; GARCIA, J.M.P.; GOES, M.H.B. **Aplicação do Mapa Digital de Uso do Solo e Cobertura Vegetal no Planejamento Ambiental do Município de Volta Redonda (RJ).** Anais – I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju/SE, Brasil, 17 e 18 de outubro de 2002.

Doherty, J., Welter, D., 2010. **A short exploration of structural noise.** Water Resour. Res. 46 (5). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008377>.

EASTMAN, J. R. **Decision support: decision strategy analysis.** Idrisi 32 release 2: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v. 2, p. 22.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva tutorial: manual version 17.** Worcester: Clark Labs, Clark University, 2012. v. 1, p. 354.

EISWIRTH, M.; WOLF, L.; HÖTZL, H. **Balancing the contaminant input into urban water resources.** Environmental Geology, v.46, n.2, p.246–256, 2004.

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital.** 2004. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. 2004.

FANG, Y.; COTE, R.P.; QIN, R. **Industrial sustainability in China: practice and prospects for eco-industrial development.** J. Environ. Manag. n.83, v.3, 2007. p. 315-328.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology.** Chapman and Hall:London, 1998.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto.** p. 3-6., 2005

FLORENZANO, T. G. **Geotecnologias na geografia aplicada: Difusão e acesso.** Revista do Departamento de Geografia, v.17, p. 24-29, 2002.

FOGLIA, L., MEHL, S.W., HILL, M.C., BURLANDO, P. **Evaluating model structure adequacy: the case of the Maggia Valley groundwater system, southern Switzerland.** Water Resour. Res., v.49 n. 1, p. 260–282, 2013.

FORMAN, R.T.T., GODRON M. 1981. **Patches and structural components for a landscape ecology.** BioScience 31: 733–740.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. **Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2643-2650.

FRANS, R. et al. **Experimental design and techniques for measuring and analysing plant responses to weed control practices.** CAMPER, N. D. (Ed.) Research methods in weed science. 3 ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. p. 37.

FREITAS, André L. P.; COSTA, H. Gomes. **A classificação da qualidade de serviços com múltiplos avaliadores: um experimento utilizando o método Electre TRI.** Laboratório de Engenharia de Produção/CCT/UENF. Campos, s/ data.

GALLINA, K.L., **Enquadramento de corpos de água em pequenas e micro-bacias hidrográficas rurais de base agrícola familiar: subsídios à elaboração da fase diagnóstica.** Vitória/ES, 2014. p. 1-16.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. **Classificação das Áreas de Recarga do Sistema Aqüífero Guarani no Brasil Em Domínios Pedomorfoagroclicmáticos – Subsídio aos estudos de Avaliação de risco de contaminação das Águas Subterrâneas.** Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 2, p. 67-74, 2002.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais.** Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2000.

GOODCHILD, M.; PARKS, B.; STEYART, L. **Environmental Modelling with GIS,** Oxford: Oxford University Press, 1993.

GREEN, D.G.; KLOMP, N.; RIMMINGTON, G., SADEDIN, S. **Complexity of Landscape Ecology Springer-Verlag,** New York. 2009, 208 p., ISBN 978-90-481-2391-9.

GUPTA, H.V., CLARK, M.P., VRUGT, J.A., ABRAMOWITZ, G., YE, M., 2012. **Towards a comprehensive assessment of model structural adequacy.** Water Resour. Res. 48 (8).

GUSTAFSON, E.J. **Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? Ecosystems.** 1998. p.143-156.

HABER, W. **Landscape ecology as a bridge from ecosystems to human ecology.** Ecological Research, v.19. 2004. p. 99-106.

HAVENITH, H.B.; STROM, A.; CACERES, F.; PIRARD, E. **Analysis of landslide susceptibility in the Suusamy region, Tien Shan: statistical and geotechnical approach.** Journal of the International Consortium on Landslides, Springer-Verlag. Landslides (2006), vol.3 p.39-50.

HAWBAKER, T. J., RADELOFF, V. C., GONZALES-ABRAHAM, C. E. **Road development, housing growth, and landscape fragmentation in Northern Wisconsin: 1937e1999**. Ecological Applications. 2006. p. 1222-1237.

HSU, N.; CHIANG, C.; CHENG, W.; WEI, C. **Study on the trade-off between ecological base flow and optimized water supply** *Water Resour. Manag.*, 2012. pp. 3095–3112.

JENSEN, J. R.; TULLIS, J. A. **Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation techniques** *International Journal of Remote Sensing*, 29. 2008. 399–423.

KAN, H. **Environment and health in China: challenges and opportunities**. *Environ. Health Perspect.* 2009. p. 530.

KAVZOGLU, T.; MATHER, P. M. **The use of backpropagatingarticial neural networks in land cover classification**. 2003 *International Journal of Remote Sensing* 24(23):4907-4938.

KOPP, S.M. **Linking GIS and Hydrological Models: Where We Have Been, Where We Are Going?** In: K. Kovar; H.P. Nachtnebel (ed.) *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*. 1996. IAHS publ. no. 235.

LANIAK, G.F. et al. **Integrated environmental modeling: A vision and roadmap for the future**. *Environmental Modelling and Software*, v.39, p.3-23, 2013.

LANIAK, G.F. et al. **Integrated environmental modeling: A vision and roadmap for the future**. *Environmental Modelling and Software*, v.39. 2013. p.3-23.

LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. p. 121.

LIANG, Z.; JINPING, S.; HUIYOND,S.; GANG,Y.; YI,J. **Large area Land Cover Classification with LANDSAT ETM+ Images based on Decision Tree.**, 2012 [International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B7].

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, USP. 1976.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. **Hidrologia de matas ciliares**. In: RODRIGUES; LIU, C.; ZHAO, C.; XIA, J.; SUN, C.; WANG, R.; LIU, T. **An instream ecological flow method for data-scarce regulated rivers** *J. Hydrol.*, 398 (1) (2011), pp. 17–25.

LOPES, A.; NEZRY, E.; TOUZI R., LAUR, H. **“Maximum A Posteriori Speckle Filtering and First Order Textural Models in SAR Images,”** in Proceedings of

International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Maryland, pp. 2409-2412, 1990.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Piracicaba, 2002, 166f. Tese (Tese de Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luis Queiros”, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MALCZEWSKI, J. **GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview.** Progress in Planning, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MARSHALL G.R.; CONNELL D.; TAYLOR B.M. **Australia’s Murray-Darling Basin: A century of polycentric experiments in cross-border integration of water resources management.** International Journal of Water Governance, v. 1, p.231–251, 2013

MCGARIGAL, K. **Landscape pattern metrics.** El-Shaarawi AH, Piegorisch WW (eds) Encyclopedia of environmetrics, vol 2. Wiley, Chichester. 2002. p. 1135–1142.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure.** General Technical Report PNW-GTR-351. Pacific Northwest research Station, USDA-Forest Service, Portland, 1995. p. 122.

MEADOR, M.R.; BROWN, L.R.; SHORT, T. **Relations between introduced fish and environmental conditions at large geographic scales** *Ecol. Indic.*, 3 (2) (2003), pp. 81–92.

MEIDINGER, D. V.; J. POJAR. **Ecosystems of British Columbia.** B.C. Special Rep. Series No. 6, B.C. Min. For., Victoria, B.C. 1991.

MENG, X.; SUN, M.; JONES, M. **Practitioners' perspectives on supply chain collaboration in UK construction projects.** *Int. J. Inform. Technol. Proj. Manag.* 2013. p. 27-40.

METZGER, J. P. **Delineamento de experimentos numa perspectiva de ecologia da paisagem.** In: Cullen Jr., L., Rudy, R., Valladares-Padua, C. (eds.). Manual em Técnicas na Biologia da Conservação e no Manejo da Vida Silvestre. IPÊ, Smithsonian Institution, National Zoological Park.

METZGER, J. P. **O que é ecologia de paisagens?** *Biota Neotropica*, vol 1, n. 1/2, 2001.

MODARRES, R.; OUARDA, T. B. M. J. **Modeling rainfall–runoff relationship using multivariate GARCH model.** *J. Hydrol.* 2013. p. 1–18.

MOREIRA, M. A. 2001. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos: INPE, 1o ed., 250 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto: metodologias de aplicação.** 2a ed. Viçosa: UFV, 2003.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas.** 2003. p. 96.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente/Suetônio Mota: 3 ed. – Rio de Janeiro.** ABES, 2003.

MOURI ET AL.; MOURI G.; TAKIZAWA S.; T. OKI. **Spatial and temporal variation in nutrient parameters in stream water in a rural–urban catchment, Shikoku, Japan: Effects of land cover and human impact** *Journal of Environmental Management*. 2011. p. 1837–1848.

MOURI G.; SHIIBA, M.; OKI T. **Modeling shallow landslides and riverbed variation associated with extreme rainfall-runoff events in a granitoid mountainous forested catchment in Japan** *Geomorphology*. 2011. p. 286–292.

NASCIMENTO, S. R. V. **Geoprocessamento Aplicado a gestão de informações territoriais do município de grossos-RN.** 2004. p. 7-12.

NAVEH, Z. **Interactions of landscapes and cultures.** *Landscape and Urban Planning*. 1995. p. 32–54.

NOSENT, J.; ELSER, P.; BAUWENS, W. **Sobol' sensitivity analysis of a complex environmental model.** *Environ*, 2011. p. 1515–1525.

NTEGEKA, V.; BAGUIS, P.; ROULIN, E.; WILLEMS, P. **Developing tailored climate change scenarios for hydrological impact assessments.** 2014.

O'NEIL, L. J. et al. **A procedure to modify Habitat Suitability Index models.** *Wildlife Society Bulletin*. 1988. p. 33-36.

OHLMACHER, G. C.; DAVIS, J. C. **Using Multiple Logistic Regression and GIS Technology to Predict Landslid Hazard in Northeast Kansas, USA.** *Engineering Geology* 69, 2003, p.331-343.

OKI, T., KANAE, S., 2006. **Global hydrological cycles and world water resources.** *Science* 313 (5790), 1068–1072.

OLIVEIRA, F. S.; SOARES, V. P.; PEZZOPANE, J. E. M. **Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, estado de Minas Gerais.** *Revista Árvore*, v. 32, n. 5, p. 899-908, 2008.

OLIVEIRA, P. C. R. **Comunidade de macroinvertebrados bentônicos e qualidade da água e do sedimento das bacias hidrográficas dos Rios Lavapés, Capivara, Araquá e Pardo, município de Botucatu (SP) e região.** 2009. p. 13-15.

OUYANG, Z. Y. **On a kind of saving economical systemddA theoretical review of the performance of “China's Agenda 21”.** *J. Renmin Univ. China*. 2004.

PAL, M.; MATHER, P. M. **Support vector machines for classification in remote sensing**. 2005. International Journal of Remote Sensing 26: p. 1007-1011.

PARK, C., LEE, J., KOO, M. **Development of a fully-distributed daily hydrologic feedback model addressing vegetation, land cover, and soil water dynamics** Velas. 2013. p. 43–56.

PAUKERT, C.P. et al. **Development and assessment of a landscape-scale ecological threat index for the Lower Colorado River Basin**. Ecological Indicators. Volume 11, Issue 2, March 2011, Pages 304-310.

PAUKERT, C.P.; PITTS, K.L.; WHITTIER, J.B.; OLDEN, J.D. **Development and assessment of a landscape-scale ecological threat index for the Lower Colorado River basin**.

PENG YUE; MINGDA ZHANG; ZHENYU TAN. **A geoprocessing workflow system for environmental monitoring and integrated modelling**. Environmental Modelling & Software 69 (2015) 128e140

POLONI, D. M. **Desenvolvimento e aplicação de procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para redução de perda de solos em pequenas bacias hidrográficas com emprego da EUPS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2010.

QIAN, X.; YU, J.; DAI, R., 1990. **A new scientific field open complex giant systems and the methodology**. Chin. J. Nat. 13 (1), 3e10 (in Chinese).

RAMOS, V. M., et al. **Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Porto Alegre, n. 2. 2003. p. 41-49.

REBOUÇAS, A. C. Estratégias para se Beber Água Limpa. **O Município no Século XXI: Cenários e Perspectivas**. São Paulo: FEPAM, 1999. p. 199-215.

REN, B. P. **Industry-financed agriculture: the strategy's transition and policy preference of the mid-term stage of the industrialization in China**. J. Northwest Univ. (Phil. Soc. Sci. Ed.) 4, 35e44 (in Chinese). 2005.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. Ministério da Ciência e Tecnologia: INPE, Relatório Técnico Parcial. 2000.

RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo. 2000. p.33-43.

RUEEDI, J.; CRONIN, A.A.; MORRIS, B.L. **Estimation of sewer leakage to urban groundwater using depth-specific hydrochemistry**. Water and Environment Journal, v.23, n.2, p.134–144, 2009.

SAHA, A. K.; GUPTA, R.P.; SARKAR, I.; ARORA, M.K.; CSAPLOVIES, E. **An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation – with a case**

**in the Himalayas.** Landslides – Journal of the International Consortium on Landslides, Springer-Verlag. 2005.

SAITO, L.; JOHNSON, B.M.; BARTHLOW, J.; HANNA, R.B.. **Assessing ecosystem effects of reservoir operations using food web-energy transfer and water quality models** *Ecosystems*, 4 (2) (2001), pp. 105–125.

SAMUEL, P. R. S. **Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários Urbanos, através de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011. 170 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SCHWARZENBACH, R.P. et al. **The Challenge of Micropollutants in Aquatic Systems.** *Science*. Aug 2006: Vol. 313, Issue 5790, pp. 1072-1077.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** 2ª ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

SHERWOOD, S., Fu, Q., 2014. **A drier future.** *Science* 343, 737–739.

SHI, Y.Z., ZHOU, H.C., 2010. **Research on monthly flow uncertain reasoning model based on cloud theory.** *Sci. China. Technol. Sci.* 53, 2408–2413.

SILVA, J. X. DA; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368p.

SILVA, L. P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do rio Cuiá.** João Pessoa: PPGEU/CT/UFPB, 2007. Dissertação: Universidade Federal da Paraíba. p.115.

SILVA, R. F. B. **Planejamento do uso do solo em uma bacia hidrográfica para conservação dos recursos hídricos.** Dissertação de mestrado. UNESP. 2011. p 10-30.

SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. **Sensoriamento remoto e planejamento ambiental: estudo integrado da paisagem e propostas estratégicas para a gestão de bacias hidrográficas,** In: XVIII JORNADAS DE JÓVENES INVESTIGADORES AUGM, 2010, Santa Fé, 2010.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.; FULLER, B.B. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** *Revista Uniara*, n.20, 2007. p.138-139.

THACH, N. N.; HUNG, N.T. (2004). **Remote Sensing and Geographical Information System Methods to Study Evaluate and Estimate Gravitational LandSlid in Son La Area.** International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure

development in Earth and Allied Science. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto Figueiredo, D.** 2005. p. 3-6.

THARME, R.E. **A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers** *River Res. Appl.*, 19 (5–6) (2003), pp. 397–441.

TILMAN, D. C.L.; LEHMAN L.; KEREIVA J. **Populacion dynamics in spatial habitats. Spatial de Roleod space populacion dynamics and interspecific intacioan.** Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 1997. p. 3-20.

TOTTI, M. E. F. **Gestão das águas na bacia hidrográfica do rio paraíba do sul: governança, instituição e atores.** Campos dos Goytacazes-RJ. 2008. p. 2.

TRAFICANTE, C., **Ecologia da Paisagem para a Avaliação da Idoneidade de Redes Ecológicas, como Subsídio para o Planejamento Territorial.** 2007. 136f. Tese. (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-ABRH. 1998. p. 669.

TUCCI, C. E. Regionalização de vazões. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: UFRG/ABRH/EDUSP, 1993. p. 573-611.

TURNER, C. L., J. M. BLAIR, R. J., SHRARTZ; J. C. NEEL. **Soil N and plant responses to fire, topography, ecology.** 1997. 78: 1832-1843.

VALENTE, R. O. A. **Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do RioCorumbataí,** SP.142 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos.** 2006. 151 f. Tese (Livre Docência em Geoprocessamento) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIEIRA, I.M.; KAZMIERCZAK, M.L.; MALTA, F.J.N.C. (2005). **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas de Risco de Movimentos de Massa em Áreas de Ocupação Urbana.** Estudo de Caso; Campos do Jordão, SP. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p.335-342.

VIEIRA, I.M.; KAZMIERCZAK, M.L.; MALTA, F.J.N.C. **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas de Risco de Movimentos de Massa em Áreas de Ocupação Urbana.** Estudo de Caso; Campos do Jordão, SP. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE. 2005. p.335-342.

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

VIZINTIN, G. et al. **Determination of urban groundwater pollution in alluvial aquifer using linked process models considering urban water cycle**. Journal of Hydrology. Volume 377, Issues 3–4, 30 October 2009, Pages 261-273.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. p. 370.

VÖRÖSMARTY, C.J.; SHARMA, K.P.; FEKETE, B.M.; COPELAND, A.H.; HOLDEN, J.; MARBLE, J.A. **Lough. The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world** *Ambio*. 1997. pp. 210–219.

WIENS, J. A.; STENSETH, N. C.; VANHORNE, B.; IMS, R. A. **Ecological mechanisms and landscape ecology**. *Oikos*. 1993. p. 66; 369-380.

XAVIER, M. C. R. **Estudo da distribuição espacial de vazões na gestão dos recursos hídricos**. 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

YAGER, R. R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision-making. **IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics**. 1988. New York. v. 8, n. 1, p. 183-190,

YANG, X. J.; LIU, Z. (2005). **Quantifying landscape pattern and its change in an estuarine watershed using satellite imagery and landscape metrics**. *International Journal of Remote Sensing*. 2005. p. 5297-5323.

YE, M.; MEYER, P. D.; NEUMAN, S. P. **On model selection criteria in multimodel analysis**. *Water Resour. Res.* 2008. p. 3.

YE, Y.; SONG, X. M.; ZHANG, J.Y.; KONG, F.Z.; MA, G. W. **Parameter identification and calibration of the Xin'anjiang model using the surrogate modeling approach**. *Front. Earth Sci.* 2014. p. 264–281.

YUE, P.; TAN, Z.; ZHANG, M. **GeoQoS: delivering quality of services on the geoprocessing web**. Proceedings of OSGeo's European Conference on Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G-Europe 2014), Germany, Bremen. 2014.

ZHANG, K.M.; WEN, Z.G. **Review and challenges of policies of environmental protection and sustainable development in China**. *J. Environ. Manag.* n. 88, v. 4, p. 1249-1261.