

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**HELDER CALSAVARA FERREIRA**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À DETERMINAÇÃO DA  
FRAGILIDADE EMERGENTE EM UM MANANCIAL DE  
ABASTECIMENTO PÚBLICO: A MICROBACIA DO ALTO DO RIO  
SARANDI**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PATO BRANCO**

**2017**

**HELDER CALSAVARA FERREIRA**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À DETERMINAÇÃO DA  
FRAGILIDADE EMERGENTE EM UM MANANCIAL DE  
ABASTECIMENTO PÚBLICO: A MICROBACIA DO ALTO DO RIO  
SARANDI**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Rodrigues de Aguiar

**PATO BRANCO**

**2017**

F383g Ferreira, Helder Calsavara.  
Geoprocessamento aplicado à determinação da fragilidade emergente em um manancial de abastecimento público: a microbacia do alto do rio Sarandi / Helder Calsavara. -- 2017.  
105 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Rodrigues de Aguiar  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, PR, 2017.

Bibliografia: f. 195 – 105.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Solos - Uso. 3. Sensoriamento remoto. I. Aguiar, Claudinei Rodrigues de, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 624

Ficha Catalográfica elaborada por  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO Nº 12**

### **Título da Dissertação**

**“Geoprocessamento aplicado à determinação da fragilidade emergente em um manancial de abastecimento público, a microbacia do alto do rio Sarandi”**

### **Autor**

**Helder Calsavara Ferreira**

Esta dissertação foi apresentada às 9 horas e 30 minutos do dia 10 de outubro de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL– Linha de pesquisa em meio ambiente, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. O autor foi arguido pela Banca Examinadora abaixo assinada, a qual, após deliberação, considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Claudinei Rodrigues de Aguiar  
UTFPR/AP  
Presidente

Profa. Dra. Berta Lúcia Pereira Villagra  
UFFS/Realeza  
Examinadora

Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa  
UTFPR/PB  
Examinador

Visto da Coordenação

**Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil- PPGEC

**O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do PPGEC**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada esposa Elis Fatel, pelo amor e dedicação, pelos conselhos em momentos difíceis durante os estudos e pelo compartilhamento dos melhores anos de minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a Deus, princípio e fim de tudo, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A minha esposa Elis Fatel, pela constante parceria em nossa jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Claudinei, pela parceria durante a orientação no desenvolvimento deste trabalho.

À UNILA e aos meus colegas de trabalho da SECIC, por terem possibilitado o período de afastamento necessário para a realização do curso.

Aos meus amigos de Realeza, pelo apoio prestado.

Aos meus colegas de sala.

Gostaria de deixar registrado, também, o meu reconhecimento aos meus pais, Antonio e Rosa, meus avós Júlia e Antenor (*in memoriam*) e a toda minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Os alimentos que jogamos no lixo são alimentos roubados da mesa do pobre, de quem tem fome. A Ecologia humana e ambiental são inseparáveis. (FRANCISCO I, Papa, 2013)

## RESUMO

FERREIRA, Helder Calsavara. **Geoprocessamento aplicado à determinação da fragilidade emergente em um manancial de abastecimento público: a microbacia do alto do rio Sarandi**. 2017. 105 páginas. Dissertação de Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

O objetivo deste estudo foi caracterizar e avaliar a fragilidade ambiental da microbacia do alto do rio Sarandi, uma importante área de manancial de abastecimento público dos municípios de Realeza e Santa Izabel do Oeste, na região sudoeste paranaense. A fragilidade ambiental foi determinada a partir da metodologia de Ross (1994), baseando-se em dados de declividade, solo e uso atual da terra. O cruzamento do mapa da declividade com o mapa de solos gerou o mapa de fragilidade potencial e o cruzamento do mapa da fragilidade potencial com o mapa de uso e ocupação do solo gerou o mapa de fragilidade emergente. Através do mapa de uso e ocupação do solo, foi possível avaliar a atual condição da ocupação das áreas de florestas ciliares. Foi constatado que há áreas que apresentam conflitos de uso e ocupação nessas áreas de preservação permanente, sendo que a agricultura ocupa atualmente 34,63% de área legal destinada às florestas ciliares. Considerando a fragilidade potencial, nota-se que na bacia do rio Sarandi as classes de fragilidade compreendidas entre “Muita baixa” a “Média” representam 66,92% e as classificadas como “Forte” e “Muito forte” representam 33,08% da área total da microbacia, enquanto que 49,98% e 32,45% da área apresentaram fragilidade emergente “Média” e “Alta”, respectivamente. A estabilidade natural presente em 66,92% da área não isenta a microbacia de problemas relacionados à erosão, pois isso torna o solo mais suscetível a ser transportado em períodos de precipitação intensa. Com a retirada da cobertura vegetal, essa estabilidade é rompida, elevando-se o nível de fragilidade da área.

**Palavras-chave:** geoprocessamento; manancial; declividade; uso do solo; degradação.



## ABSTRACT

FERREIRA, Helder Calsavara. **Geoprocessing applied to the determination of emergent fragility in a public supply source: the upper sub-drainage basin of the Sarandi river.** 2017. 105 pages. Master's Dissertation in Civil Engineering – Federal Technology University - Parana. Pato Branco, 2017.

The objective of this study was to characterize and evaluate the environmental fragility of the upper sub-drainage basin of the Sarandi River, an important source of public water supply in the municipalities of Realeza and Santa Izabel do Oeste, in the southwestern region of Paraná. Environmental fragility was determined according to the methodology of Ross (1994), based on slope, soil and current land use data. The crossing of the declivity map with the soil map generated the map of potential fragility and the crossing of the map of potential fragility with the map of land use and occupation generated the map of emergent fragility. Behind the land use and occupation map, it was possible to evaluate the current condition of occupation of the riparian forest areas. I have noticed that there are areas that present conflicts of use and occupation in these areas of permanent preservation, and agriculture currently occupies 34.63% legal area destined to the ciliary forests. Considering the potential fragility, it can be observed that in the Sarandi river basin the fragility classes comprised between low and medium represent 66.92% and those classified as strong and very strong represent 33.08% of the total area of the sub-drainage basin, while 49.98% and 32.45% of the area presented medium and high emergence fragility, respectively. The natural stability present in 66.92% of the area, does not exempt the sub-drainage basin from problems related to erosion, as this makes the soil more susceptible to be transported during periods of intense precipitation. With the removal of the vegetal cover this stability is broken, raising the level of fragility of the area

**Keywords:** Geoprocessing; source of supply; slope; use of land; degradation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos da Bacia Hidrográfica.....	23
Figura 2 - Esquema de Trabalho do Sensoriamento Remoto .....	33
Figura 3 - Satélite CBERS - 4.....	36
Figura 4 - Mapa de Localização da Microbacia do Alto do Rio Sarandi .....	48
Figura 5 - Imagem orbital em composição de cor verdadeira da microbacia do alto do rio Sarandi, obtidas a partir de imagens do satélite CBERS 4 .....	50
Figura 6 - Mapa de Curvas de Nível da Microbacia do Alto do Rio Sarandi.....	54
Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da Microbacia do Alto do Rio Sarandi.....	56
Figura 8 - Mapa representando a hidrografia da microbacia do alto do rio Sarandi ..	58
Figura 9 - Captação e Estação de Tratamento de Água de Realeza .....	60
Figura 10 - Mapa Microbacia do Alto do Rio Sarandi .....	62
Figura 11 - Composições Utilizadas para a Classificação.....	64
Figura 12 - Mapa de Declividade da Microbacia do Alto do Rio Sarandi.....	69
Figura 13 - Mapa Categorizado de Declividade da Microbacia do Alto do Rio Sarandi .....	71
Figura 14 - Mapa de Solos da Microbacia do Alto do Rio Sarandi .....	73
Figura 15 - Mapa Categorizado de Solos da Microbacia do Alto do Rio Sarandi .....	76
Figura 16 - Mapa Fragilidade Potencial da Microbacia do Alto do Rio Sarandi.....	78
Figura 17 - Mapa Usos atuais do solo na microbacia do alto do rio Sarandi, obtido a partir de imagens do satélite CBERS 4 .....	82
Figura 18 - Mapa Usos atuais do solo na APP da microbacia do alto do rio Sarandi, obtidas a partir de imagens do satélite CBERS 4 - Parte 1 .....	86
Figura 19 - Mapa Fragilidade Emergente da Microbacia do Alto do Rio Sarandi .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das Câmeras do CBERS-4.....	37
Tabela 2 - Fragilidade das Classes de Declividade.....	45
Tabela 3 - Fragilidade dos Tipos de Solo.....	45
Tabela 4 - Proteção dos Tipos de Cobertura do Solo .....	47
Tabela 5 - Alturas Mensais de precipitação .....	52
Tabela 6 - Categorias de Declividade e Grau de Fragilidade .....	72
Tabela 7 - Nomenclatura das Classes de solo, ITGC .....	72
Tabela 8 - Classes de Solos e Grau de Fragilidade e ocorrência .....	74
Tabela 9 - Ocorrência de Cada Tipo de Solo em Função da Declividade .....	79
Tabela 11 - Usos atual do solo na microbacia do alto do rio Sarandi, Grau de Proteção e suas respectivas áreas e ocorrências, obtida a partir de imagens do satélite CBERS 4.....	81
Tabela 12 - Uso e ocupação da terra em função da declividade. Áreas em Km <sup>2</sup> .....	85
Tabela 14 - Fragilidade emergente da microbacia do alto do rio Sarandi .....	87

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos .....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	21
2.2	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	25
2.3	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	28
2.4	SENSORIAMENTO REMOTO.....	32
2.4.1	Imagens Orbitais, Satélite CBERS-4 .....	35
2.4.2	Modelagem Topográfica e Sensoriamento Remoto.....	38
2.5	GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
3.1	MAPAS: FRAGILIDADE POTENCIAL E FRAGILIDADE EMERGENTE .....	43
3.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	47
3.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS UTILIZADOS .....	51
3.4	CARACTERIZAÇÃO TERRITORIAL GEOBIOFÍSICA DA MICROBACIA DO RIO SARANDI.....	51
3.4.1	Clima .....	51
3.4.2	Relevo .....	53
3.4.3	Hidrografia .....	57
3.4.4	Solo .....	59
3.5	DETERMINAÇÃO DOS LIMITES GEOGRÁFICOS DA MICROBACIA.....	59
3.6	IMAGENS ORBITAIS.....	63
3.7	CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS .....	65
3.8	DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1	CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO .....	67
4.2	CLASSES DE SOLOS .....	72
4.3	FRAGILIDADE POTENCIAL .....	77
4.4	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	80
4.5	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA EM APP'S.....	84

4.6	FRAGILIDADE EMERGENTE DA MICROBACIA DO ALTO DO RIO SARANDI .....	87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	91
	REFERÊNCIAS .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental é um tema amplamente debatido, tanto no meio acadêmico quanto por entidades governamentais, organizações não governamentais, veículos de comunicação e pela sociedade civil, demonstrando uma constante preocupação da sociedade com conservação do meio ambiente, diante da possibilidade de escassez dos recursos naturais.

Diante deste quadro emergente de deterioração dos recursos naturais, ocasionado, em sua maior parte, pela ação antrópica no que se refere à ocupação desordenada do espaço físico e geográfico pela expansão agrícola e urbana, é imperativo que os governos e instituições da sociedade civil organizada passem a planejar o desenvolvimento de ações e projetos que possam mitigar ou frear os impactos ambientais. Da mesma forma, é necessário o planejamento para o desenvolvimento sustentável de regiões que ainda não são afetadas pelos efeitos decorrentes da devastação ambiental.

Qualquer alteração nos diferentes elementos da natureza acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, dissolvendo o seu estado de equilíbrio dinâmico, pois os sistemas ambientais apresentam maior ou menor fragilidade, quando submetidos às intervenções humanas, em função de suas características “genéticas”, tais como revelo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos. O tratamento destas variáveis, realizado de forma integrada, possibilita obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Portanto, a construção de modelos de análise da fragilidade fornece subsídios ao planejamento estratégico ambiental.

Os mapeamentos das fragilidades ambientais identificam e analisam as áreas em função de seus diferentes níveis de fragilidade, tornando-se possível a determinação do grau de fragilidade para cada região dentro de uma área de estudo, favorecendo, desta forma, a identificação de quais tipos de inserções serão aceitas, assim como, por exemplo, estabelecer que em áreas mais frágeis sejam necessárias ações tecnicamente mais adequadas a essas condições (SPÖRL; LUCIANO; ROSS, 2004).

A água é um recurso natural de fundamental importância para o meio ambiente e para a sociedade. A região onde se encontram os municípios de Realeza e Santa Izabel do Oeste, Sudoeste do Paraná, é a que apresenta o menor potencial

hidrogeológico do Terceiro Planalto Paranaense, com poços de profundidade média de 170 metros apresentando vazões inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h, frente a valores superiores a 10 m<sup>3</sup>/h em outras regiões do Terceiro Planalto (MINEROPAR, 2002).

Para Tucci (2002) a sustentabilidade hídrica das cidades é afetada quando a degradação ambiental atinge áreas de mananciais de abastecimento humano. Tanto a expansão agrícola quanto os processos de urbanização, quando realizados sem o devido planejamento, são grandes causadores de problemas ambientais.

Portanto, a preservação de mananciais de abastecimento público é de fundamental importância, não só para os municípios citados, mas para toda a região, que carece de dados ambientais e políticas públicas de conservação e manejo sustentável de tais áreas.

A principal forma de proteção de mananciais de águas superficiais é a preservação da vegetação nativa, principalmente as florestas ciliares. Estas propiciam proteção contra processos naturais de erosão do solo. Contudo, o processo erosivo pode ser demasiadamente acelerado quando o uso e ocupação se fazem de forma inadequada, como, por exemplo, em áreas de plantio que não empregam técnicas de terraceamento ou áreas urbanas com sistemas de drenagem inadequados. O manejo inadequado e a intensificação do uso do solo proporcionam condições favoráveis à origem de impactos negativos, que devem ser analisados para compreender a atuação do homem sobre o meio ambiente (UGEDA JÚNIOR, 2014).

A magnitude do impacto ambiental está intimamente relacionada ao consumo da população. Os problemas ambientais gerados pelo ser humano passam a ser uma das principais preocupações da atualidade, surgindo assim a necessidade de buscar uma forma de produção limpa e com impactos menores ao meio ambiente, com a finalidade de se obter maior sustentabilidade, resiliência e capacidade de suporte dos sistemas (TEIXEIRA, 2011).

Quanto às áreas urbanizadas, a maioria das cidades brasileiras ainda adota um modelo de urbanização que modifica profundamente o ciclo hidrológico e, conseqüentemente, os cursos d'água sofrem sérios impactos. Atualmente os rios urbanos apresentam um alto grau de degradação e são utilizados principalmente para o transporte de resíduos e excesso de chuva. No entanto, nas últimas décadas, vem sendo discutida a reintrodução do rio como um elemento vivo na paisagem

urbana, restaurando as funções ecológicas, sociais e hidrológicas (RIGOTTI; POMPÊO, 2011).

Com o objetivo de proteção destes mananciais, ações preservacionistas são implementadas pelo governo do estado, principalmente através do Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), que desenvolve programas de proteção de nascentes, dentre outros. Contudo, não há o envolvimento de toda a comunidade nestas ações, que são concentradas nas áreas rurais dos municípios. Diante desse quadro, faz-se necessário o envolvimento, sobretudo do poder público municipal, para o desenvolvimento de projetos de conservação, principalmente em áreas de mananciais.

O desenvolvimento de projetos de qualquer natureza necessita de dados que possam subsidiar a tomada de decisão, que sempre deve estar sustentada em informações precisas. A formação de bases de dados digitais contribui de forma direta para análises das mais variadas áreas do conhecimento, para diagnósticos e investigações dos recursos naturais, questões legais, sociais e econômicas, monitoramento, planejamento e gestão territorial. A cartografia, aliada a esse banco de dados, vem se mostrando um instrumento cada vez mais eficaz no estudo e planejamento das intervenções no meio ambiente, possibilitando o planejamento e a gestão territorial através da identificação e diagnóstico ambiental, em função das características físicas do território (CRUZ; PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2010).

Por sua vez, o planejamento e a gestão territorial passam pela identificação e diagnóstico, em função das características físicas da região, como, por exemplo, o relevo e tipos de solo, e do uso e ocupação do solo. Tais fatores são decisivos para a determinação da fragilidade potencial e da fragilidade emergente, que demonstram quais áreas requerem maior atenção e cuidados.

A fragilidade potencial indica os graus de fragilidade resultantes da correlação de componentes físico-naturais da paisagem, tais como: declividade do terreno, cobertura pedológica e a erosividade das chuvas (índice este derivado da intensidade pluviométrica). Portanto, a carta de fragilidade potencial expressa a inter-relação e as ações dos processos morfogenéticos que atuam na paisagem. Por sua vez, a fragilidade emergente expressa a conexão entre a fragilidade potencial e as informações de uso do solo, ou seja, a carta de fragilidade emergente expressa a correlação dos fatores naturais (relevo, tipo de solo e clima) e a forma de uso e ocupação da terra, indicando os graus de fragilidade das unidades territoriais



segundo a proteção oferecida ao solo, destacando as áreas em estado de desequilíbrios pela ação antrópica (ROSS, 1990, 1994).

Buscando contribuir para o planejamento e conservação ambiental, este trabalho procurou traduzir dados em informações adotando métodos de integração e análise espacial que permitiram a produção do mapa de fragilidade emergente da área de estudo, a qual consiste na microbacia do rio Sarandi, localizado na região sudoeste do Paraná. Para tal, foram utilizados dados de altimetria e imagens de satélites ou sensores orbitais, cartas topográficas, dados disponibilizados por institutos de pesquisa e órgãos governamentais e civis, idas a campo e revisão da literatura para o desenvolvimento e aplicação de técnicas de geoprocessamento, análise e diagnóstico ambiental, que culminaram na elaboração do mapa de fragilidade emergente. Dentre a gama de informações necessárias para alcançar o objetivo principal, destacam-se o mapa de declividade e a delimitação da microbacia, derivado de dados de altimetria, e o mapa de classes de solo, componentes do mapa de fragilidade potencial. A delimitação das áreas de preservação permanente e a identificação de conflitos de uso e ocupação em Área de Preservação Permanente (APP) também foram abordadas de forma objetiva, possibilitando a visualização desses conflitos através de mapas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo a elaboração do mapa de fragilidade emergente da microbacia do alto do rio Sarandi, proporcionando informações que possam contribuir para o planejamento e conservação ambiental.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos acabam por compor o mapa de fragilidade emergente ou são derivações de etapas preliminares. A criação de uma base de dados cartográficos georreferenciada contendo imagens e dados de altimetria de satélites ou sensores orbitais, cartas topográficas, dados disponibilizados por institutos de pesquisa e órgãos governamentais e civis e a coleta de informações em campo, acaba por compor uma parte dos objetivos específicos. Através de técnicas

de geoprocessamento, com a aplicação de álgebra de mapas, pode-se converter estes dados em informações complementares, que representam a outra parte dos objetivos específicos, sendo que os resultados são apresentados em:

- a) Mapa de fragilidade potencial;
- b) Mapa de uso e ocupação do solo;
- c) Delimitação das áreas de preservação permanente;
- d) Identificação de conflitos de uso e ocupação em Áreas de Preservação Permanente.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Para abordar as relações dialéticas presentes na produção do espaço geográfico e as diversas manifestações desse fenômeno na paisagem a partir de uma visão integrada, faz-se necessária uma análise sobre os conceitos de natureza ao longo da história da ciência. Desta forma, deve-se buscar entender como o sistema de produção interfere na dicotomia sociedade-natureza.

A separação entre sociedade e natureza, comumente considerada característica essencial do desenvolvimento econômico e de sua forma de produção, faz parte das percepções que o homem forma sobre a natureza, e são diferentes de acordo com a visão de mundo de cada época, ou seja, é um conceito construído histórica e socialmente (CIDADE, 2001).

No Brasil, o modelo de ocupação territorial estabelecido, bem como o processo de urbanização da maioria das cidades, teve preferencialmente a proximidade com os corpos hídricos, trazendo, desta forma, consequências degradantes não apenas aos recursos hídricos propriamente ditos, mas também na qualidade do ar, do solo, da fauna e da flora (FENDRICH; OLIYNIK, 2002). Os rios urbanos vêm sendo cada vez mais transformados e estão perdendo as suas características naturais, devido ao crescimento das cidades e às diversas e sucessivas obras de engenharia que modificam as formas, a estrutura e a aparência dos cursos d'água, alterando a eficiência do fluxo (CARDOSO, 2008).

O processo de intensificação da urbanização no Brasil pode ser caracterizado, em termos gerais, pela mudança de um caráter de vida econômica em baseado em atividades agrárias, enquanto a população vivia, em sua maioria no campo, para uma sociedade mais urbana. Essa mudança se torna mais expressiva nos finais do Século XIX e início do Século XX, com a presença da indústria nas cidades. No Brasil, “[...] bem como na maioria dos países periféricos, a urbanização se deu de forma acelerada mesmo em regiões onde a industrialização não ocorreu de modo intenso” (UGEDA JÚNIOR, 2014, p. 106). O autor salienta que o modelo de urbanização implantado no Brasil, e comum em países em desenvolvimento, pode ainda ser caracterizado pela falta de um planejamento eficaz, crescimento desordenado e falta de infraestrutura, o que colabora para o surgimento de diversos problemas na maioria das cidades.

A ocupação territorial do sudoeste paranaense apresentou uma dinâmica migratória, ao longo do século XX, na qual se podem identificar três períodos distintos de evolução demográfica, através de um processo migratório que determinou a configuração espacial: entre 1900 e 1940, a região exibia uma população dispersa e rarefeita, concentrada, em geral, em torno da economia de subsistência; de 1940 a 1970, milhares de trabalhadores foram atraídos para a região com a expansão acelerada da fronteira agrícola estadual, levando à ocupação e à apropriação extensivas e intensivas; entre 1970 e 2000, ocorreu uma modernização da agricultura por meio de políticas públicas do Estado do Paraná, as quais aproximaram o agro às indústrias, impondo uma nova divisão social e territorial do trabalho ao sudoeste paranaense. Este último fato promoveu uma rápida e drástica diminuição da população das áreas rurais, estimulando de forma vigorosa a urbanização da região e a emigração para outros estados (MONDARDO, 2011).

Tanto a expansão agrícola quanto os processos de urbanização, quando realizados sem o devido planejamento, são grandes causadores de problemas ambientais. Ao atingirem áreas de mananciais de abastecimento humano, afetam a sustentabilidade hídrica das cidades (TUCCI, 2002).

Processos de expansão e ocupação territorial associados à falta de planejamento adequado causam impactos ambientais, que podem se tornar desastrosos para a sociedade. Santos (2007, p.3) destaca esta questão abaixo, quando trata da importância da leitura de paisagem:

Uma importante lição da leitura de paisagem é que toda e qualquer situação desastrosa é sempre precedida por uma mudança. O ambiente é dinâmico. Isto significa que uma situação de equilíbrio sempre pode, de maneira abrupta ou gradual, ser transformada em uma situação de não equilíbrio. A questão é responder em que medida as alternativas de uso e ocupação da terra estão contribuindo ou introduzindo essa transformação que pode resultar em um evento desastroso para o homem. (SANTO, 2007, p. 3)

Ressalta-se que os problemas ambientais abrangem muito mais as áreas ocupadas por populações de classes sociais menos favorecidas do que as das classes sociais mais elevadas. A localização espacial das primeiras está associada à desvalorização do espaço, pela proximidade com os leitos de inundação dos rios, das indústrias, de usinas, estando esta população sujeita a riscos ambientais (SANTOS, 2016).

Por sua vez, Tavares (2008) acrescenta que os efeitos ambientais considerados negativos ou adversos decorrem, sobretudo, de atividades ou intervenções humanas, sendo raramente resultantes de fenômenos ou processos naturais. Nesse sentido, como possíveis condições para a geração de impactos negativos, têm-se o manejo inadequado do solo e a intensificação do seu uso. Estes devem ser compreendidos por uma lógica que leve em consideração a atuação antrópica (UGEDA JÚNIOR, 2014).

Os principais efeitos e processos decorrentes das alterações no meio ambiente são os que trazem como consequência, para o solo, a impermeabilização, a contaminação e a erosão. Já para a hidrografia, essas alterações causam desequilíbrio hidrológico, enchentes, poluição de mananciais e contaminação de aquíferos. Para a vegetação, provocam o desmatamento, a redução da diversidade e o plantio de espécies inadequadas. Para o homem, geram estresse, doenças e violência urbana. E esses processos estão relacionados, havendo impactos e consequências causais, como no ciclo hidrológico, principalmente sobre os processos de infiltração, armazenagem nos corpos d'água e fluxo fluvial, que resultam nas enchentes urbanas, acometendo sazonalmente as cidades. Tais processos demonstram que há uma relativa fragilidade do sistema hidrológico urbano, sendo que pequenas mudanças no meio podem acarretar grandes alterações com inevitáveis impactos na qualidade de vida (BRAGA; CARVALHO, 2003).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), dispõe de regulamentações acerca da Política Nacional do Meio Ambiente. A Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986, considera impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente. Tais alterações são causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Instituída pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos define os princípios e normas para a gestão de recursos hídricos, considerando as bacias hidrográficas como unidade, conforme

podemos ver no Artigo primeiro, inciso V: “[...] a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997). A mesma lei também ressalta a importância da água, reconhecendo-a como um bem dotado de valor econômico, e estabelece, ainda, a necessidade da gestão integrada de seu uso e da participação social.

A mesma lei define os instrumentos adequados para a gestão das águas, que estão atrelados às informações geradas através do monitoramento dos recursos hídricos. Tais informações são geridas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas. Portanto, é indispensável que os Comitês de Bacias Hidrográficas disponham de informações adequadas para o processo decisório.

Logo, existe a necessidade de instrumentalização, capacitação e responsabilização dos administradores, visando a uma melhor gestão ambiental, principalmente no que se refere ao controle do uso e da ocupação da terra. A gestão ambiental advém das leis de zoneamento e gestão das áreas de risco, observando-se a importância de incorporar diretrizes de proteção e controle ambiental, sobretudo nos fundos de vale, das áreas sujeitas à inundação, das cabeceiras de drenagem, das áreas de alta declividade e a promover o aumento da permeabilidade do solo urbano.

## 2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Ao se pensar em análises hidrológicas e ambientais, faz-se necessário a caracterização morfométrica da área a ser estudada. O conceito de “bacia hidrográfica” e sua definição é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises deste tipo, objetivando esclarecer as múltiplas questões abrangidas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

Para os profissionais que trabalham com recursos hídricos, a fixação da bacia hidrográfica como unidade hidrológica é a mais aceita e usual. Desta maneira, as bacias hidrográficas passam a constituir um módulo para o estudo do ciclo da água e as interferências do homem sobre este. Uma bacia hidrográfica é definida como sendo a área total de drenagem, a qual alimenta uma determinada rede hidrográfica, ou como um espaço geográfico de sustentação dos fluxos d’água de um sistema fluvial hierarquizado. Outra forma de se entender tal sistema é como

uma área fisiográfica drenada por um curso ou um sistema de cursos d'água conectados, que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água comum (BRASIL, 1987).

Por sua vez, Barrella et al. (2001) acrescentam o conceito de relevo ao definir a bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por uma rede de drenagem composta por um rio e seus afluentes, delimitada por regiões mais altas do relevo, divisores de água, onde as águas precipitadas ou escoam superficialmente, dando origem aos riachos e rios, ou infiltram no solo, acarretando a formação de nascentes e do lençol freático. Para Tucci (2001), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que, pelo seu relevo, propicia o escoamento para um único ponto de convergência, na saída do sistema, constituindo um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede hidrográfica formada por cursos de água que confluem até resultar em um único leito que drena a área até seu exutório.

Então, o conceito de bacia hidrográfica incorpora todas as contribuições dos autores citados anteriormente, sendo uma região geográfica que pode ser facilmente identificada em função de suas características morfométricas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos congrega princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a unidade “bacia hidrográfica” como parâmetro de estudo e gestão. Deste modo, a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões é fundamental para gestores e pesquisadores (BRASIL, 1997).

Monteiro (2003) resalta que toda bacia hidrográfica apresenta características definidas, tais como área, forma, tipo de drenagem, tipos de solo e rocha, formas e extensões de relevo, variação e dimensão das classes de declividade, uso e ocupação do solo, conforme representado na Figura 1. Para tanto, a ciência e a análise destas características são de fundamental importância para o gestor ambiental e a implementação de projetos de qualquer natureza.

Figura 1 - Elementos da Bacia Hidrográfica



Fonte: Galeria de imagens SEED (2010).

As bacias hidrográficas podem ser subdivididas em função da ordem do curso d'água principal ou em função de sua área de abrangência. Estas classificações, incorporadas à literatura, apresentam os termos “sub-bacia” e “microbacia”, entretanto, não há convergência conceitual para essas subdivisões, como acontece para a bacia hidrográfica. Desta maneira, diversos conceitos são empregados para a definição de sub-bacias e microbacias, sendo adotados critérios hidrológicos, ecológicos ou unidades de medida.

Para Santana (2003), as bacias hidrográficas podem ser divididas em função do ponto considerado como sendo seu exutório em relação ao curso d'água principal e, desta forma, poderá haver um número qualquer de sub-bacias. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Por consequência, os termos “bacia” e “sub-bacias” hidrográficas são relativos.

As sub-bacias são subseções da área de drenagem do curso d'água principal, são áreas de drenagem dos tributários. Alguns autores estipulam unidades



de medida para determinar a sua abrangência. Faustino (1996) estabelece que sub-bacias possuem áreas superiores a 100 km<sup>2</sup> e inferiores a 700 km<sup>2</sup>. Da mesma forma, Cecílio (2016) define uma microbacia como uma sub-bacia hidrográfica, porém, de área reduzida, variando de 1 km<sup>2</sup> a 200 km<sup>2</sup>.

Para Lanna (1995), estudos com vegetação que tenham por finalidade a mensuração e o diagnóstico ambiental definem sua própria unidade espacial em função do próprio estudo, implicando em uma variação que pode ir desde divisões por delimitações legais, de parques e reservas, políticas, municípios e estados, e até unidades naturais, como regiões ecoclimáticas.

Bacias hidrográficas, e/ou suas subdivisões, vêm sendo consideradas como a unidade de planejamento e gestão territorial, por serem unidades geográficas fisicamente bem definidas.

Por possuir as características ideais, a unidade microbacia é apontada por Moraes et al. (1997) como unidade geográfica para o planejamento do uso e manejo integrado de seus recursos naturais renováveis, destacando que este planejamento é de extrema importância em locais e sociedades que apresentam um constante acréscimo do consumo de água, que tenderiam a avançar ocupando áreas com riscos de inundação, danificando o seu meio. Os mesmos autores salientam que a tendência seria o desenvolvimento sustentável da área, o que implicaria em um aproveitamento racional dos recursos e minimizaria o dano ambiental.

Mosca (2003) e Leonardo (2003) consideram a microbacia como a menor unidade do ecossistema, onde pode ser analisada a interdependência de fatores bióticos e abióticos, e o quão delicado é esta relação. Tal conceito permite a identificação e monitoramento, de forma orientada, dos impactos ambientais.

Uma microbacia apresenta maior sensibilidade à ocorrência de precipitações de curta duração e alta intensidade, bem como é mais suscetível ao fator uso e ocupação do solo de sua superfície.

Portanto, do panorama hidrológico, a classificação em grandes ou pequenas bacias hidrográficas não é vista somente em função de sua área superficial, mas considerando os fatores que influenciam o deflúvio gerado. A compreensão deste sistema é de fundamental importância para a definição e delimitação espacial de microbacias e a diferenciação dessas e de bacias hidrográficas, sendo que as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de precipitações intensas e/ou em função de mudanças no solo, são identificadas em

maior escala, devido a sua maior sensibilidade, nas microbacias quando comparadas às grandes bacias. A estruturação de programas de monitoramento ambiental baseados em medições de variáveis hidrológicas, topográficas, cartográficas e liminológicas dependem do entendimento espacial de bacias e microbacias, bem como do auxílio de sistemas de informações geográficas (LIMA; ZAKIA, 2014).

Considerando os citados autores desta seção e em função de sua área de abrangência e dos fatores ambientais envolvidos, a área de estudo foi classificada como uma microbacia. Por sua vez, o local, no rio Sarandi, onde se localiza a captação de água para o sistema de abastecimento público do município de Realeza, administrado pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), foi estabelecido como o exutório da microbacia. Como tal e por se tratar de uma área que compreende a região do alto curso do Rio Sarandi, a região foi denominada como Microbacia do Alto do Rio Sarandi. Os parâmetros morfométricos e imagens serão apresentados oportunamente no decorrer deste trabalho.

## 2.2 ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

A conservação ambiental é um dos grandes desafios da humanidade, sendo necessário concentrar esforços e recursos para a preservação e recuperação de áreas naturais consideradas estratégicas, das quais vários ecossistemas são dependentes. Em meio a estas, destacam-se as APP's por possuírem uma importância vital dentro de uma microbacia, sendo responsáveis pela manutenção e conservação dos ecossistemas ali existentes (MAGALHÃES; FERREIRA, 2000). O histórico e o contínuo desrespeito aos ecossistemas destacam-se entre os problemas mais relevantes observados nas APP's. Neste contexto, deixa-se de lado a adoção de critérios técnico-científicos, sempre ignorados quando da adoção de legislação pertinente, e menospreza-se o saber popular.

A preservação da mata ciliar é necessária para a conservação dos recursos hídricos, pois esta é de suma importância para o nível de qualidade da água, uma vez que proporciona a diminuição dos processos erosivos e de assoreamento do leito e margem dos rios, em função do aumento da infiltração do precipitado, conseqüentemente, o abastecimento dos lençóis freáticos, e a regularização da vazão superficial (VESTENA; THOMAZ, 2006).

O art. 225 da Constituição Federal (CF) assegura, como fundamental ao ser humano, o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado. As APP's têm como função atender a este direito fundamental, sendo consideradas áreas naturais intocáveis, com rigorosos limites de exploração, ou seja, não é admitida a exploração direta (BRASIL, 1988).

Para Costa, Souza e Brites (1996), as APP's têm por função proteger o ambiente natural, devendo estar sempre cobertas com a vegetação original, pois esta atenua os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, colaborando ainda para a regularização do fluxo hídrico, diminuição do assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, beneficiando de forma direta a fauna.

A demarcação geográfica das APP's, previstas em lei, e a confrontação desses locais com o seu uso atual podem estabelecer as medidas a serem tomadas com o objetivo de contribuir com o uso racional das terras. O planejamento do uso do solo é essencial à conservação dos recursos naturais. Por este motivo, municípios e até unidades de produção vêm adotando este conceito de uso racional, de acordo com as exigências vigentes na legislação (AMATO; SUGAMOSTO, 2000<sup>1</sup> apud NARDINI; CAMPOS; RECHE, 2014, p. 29-40).

A vegetação é um elemento muito sensível às condições naturais e tendências da paisagem, responde rapidamente às mudanças, podendo mudar em um curto espaço de tempo e em curtas distâncias. Com isso, sua análise permite avaliar as influências antrópicas recebidas e as condições naturais do território, que de alguma forma afetam a qualidade do meio (SANTOS, 2004).

O adequado manejo de APP's, que passa pela análise cuidadosa da vegetação, como importante elemento verificador de efeitos, pode promover a melhoria da qualidade de vida das populações próximas e a preservação de recursos naturais, por conta do equilíbrio gerado por sua função ambiental.

O Código Florestal Brasileiro (CFB), Lei nº 12.651, em seu artigo 4º, estabelece como APP as florestas e demais formas de vegetação natural situadas nas faixas marginais de qualquer curso d'água natural, perene ou itinerante, sendo de 30 (trinta) metros de largura a APP para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura e de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de

---

<sup>1</sup> AMATO, F., SUGAMOSTO, M. L. Sistemas de Informações Geográficas no controle de desmatamento irregular na Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba e de ocupação antrópica no entorno do Parque Nacional de Superagüi [CD-ROM]. In: GISBRASIL 2000, Salvador, 2000, Anais... Fatorgis – Informação e Eventos Tecnológicos.

10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura, sendo estas as classes prováveis de rios presentes em microbacias (BRASIL, 2012). Em áreas de nascentes, ainda que intermitentes e nos “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, a APP deverá ter um raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura, da mesma forma que as veredas deverão ter a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado. Encostas ou partes delas com declividade superior a 45° (quarenta e cinco graus), equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive, também devem ser preservadas permanentemente.

Para Odum (1988), a preservação da faixa vegetativa é de fundamental importância por impedir a erosão do solo nas áreas adjacentes e, assim, evitar a sedimentação e assoreamento de cursos d’água. As consequências imediatas do assoreamento são o rebaixamento do lençol freático, a diminuição na vazão e o declínio da biodiversidade do sistema, com perda de habitat aquático. Por sua vez, o material em particulado fica em suspensão e interfere na qualidade da água.

Os limites da mata ciliar não são facilmente demarcados, pois constitui uma vegetação que está intimamente acoplada ao curso d’água, atuando como uma barreira física e bioquímica capaz de diminuir a capacidade de transporte de sedimentos para um corpo de água. Seu sistema radicular fixa nutrientes, sendo considerada uma extraordinária fonte de sementes, responsáveis pelo processo de regeneração natural. Possui uma função ecológica estratégica na manutenção de uma microbacia hidrográfica. Por esse motivo, há agentes suficientes para justificar a necessidade de sua preservação e conservação (RODRIGUES; LEITÃO FILHO, 2000).

Segundo Moreira (2007), as matas ciliares foram alvo da destruição e degradação. Essas áreas, originalmente cobertas por vegetação, foram seccionadas de forma desordenada pelo avanço da agricultura, pecuária e da urbanização, gerando graves problemas ambientais.

Ao formar uma massa vegetativa, a mata ciliar proporciona uma maior infiltração da água, o que favorece um rápido crescimento ciliar, protegendo o manancial contra sedimentos, tornando-se de extrema importância para a conservação da biodiversidade local (RODRIGUES, 2003).

Almeida (1997) destacava que o antigo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 4.771, de 1965, revogada pela Lei Federal 12.651 de 2012) tinha como

objetivo prevenir e corrigir perdas causadas pelo desmatamento, ao definir a preservação permanente de áreas específicas. Da mesma forma, destacava que a noção de desenvolvimento rural sustentável surge da compreensão de que os recursos naturais são finitos e das injustiças sociais geradas pelo modelo de desenvolvimento predominante na maioria dos países.

Para Ab'Sáber (2010), a reforma do CFB seria um incentivo ao desmatamento e emissões incontroláveis de gás carbônico, enquanto o mundo inteiro trabalha para a redução do mesmo.

### 2.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo Anderson et al. (1979), é necessário que os legisladores e planejadores tenham informações sobre a atual distribuição das terras urbanas, recreativas e agrícolas, bem como o conhecimento sobre as dimensões de suas mudanças, para projetar uma política de uso da terra mais eficaz, planejar de uma maneira melhor os serviços públicos, como o transporte, identificar áreas ou pontos de pressão em um futuro desenvolvimento e traçar planos que ensejem no desenvolvimento regional.

Para o gerenciamento e planejamento dos recursos naturais, são necessários diversos tipos de dados, tais como, o uso do solo, solos, vegetação, superfícies de água, dentre outros. Cada cenário de dados produz informações necessárias para o planejamento e a tomada de decisão para cada problema encontrado (PAREDES, 1994<sup>2</sup> apud DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006, 175 - 181).

Santos (2004) destaca que as formas de uso e ocupação são classificadas pelo tipo de uso, especializadas através de mapas e quantificadas, quando se deseja exibir o percentual de área ocupada em função do tipo, podendo ainda, conter nestas informações, o histórico evolutivo do uso e ocupação da área de estudo. Para isso, faz-se necessário o seu levantamento através de pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação da paisagem, a fim de classificar os tipos de uso e analisar a vegetação presente (IBGE, 2013).

---

<sup>2</sup> Paredes, E. A. Sistema de informação geográfica: (geoprocessamento) princípios e aplicações. São Paulo: Editora Érica Ltda, 1994. 690p.

Segundo Ferreira (2006) para áreas majoritariamente ocupadas por atividades agrícolas, o monitoramento das alterações de uso e ocupação do solo deve ser realizado com critérios e avaliações técnicas que possam dar subsídios à interpretação da sustentabilidade ambiental. Assim, o estudo da forma como se desenvolve a ocupação das terras e o seu uso, constitui importante item na pesquisa para o planejamento do emprego racional dos recursos naturais, colaborando na geração de elementos para avaliação da sustentabilidade ambiental.

Conforme Bolzan (2006), práticas hostis ao meio ambiente sempre estiveram associadas ao desenvolvimento do meio rural. No Brasil, os empregos de técnicas inadequados de manejo do solo, das florestas e das águas somados ao desconhecimento, continuam sendo os grandes responsáveis pela degradação destes recursos.

Pollo (2013) afirma que se faz necessário o conhecimento do uso e ocupação do solo, estabelecendo-se desta forma subsídios ao se analisar dados de redes de drenagem, áreas urbanas e verdes, para que haja um planejamento de áreas agricultáveis e proteção dos recursos naturais ao se estabelecer planos de manejo adequados.

Conforme Alshuwaikhat (2005) a falta de planejamento ambiental é uma característica de países em desenvolvimento, cuja tendência atual de industrialização e urbanização apresenta um grande impacto nos ecossistemas antropogênicos e naturais, sendo que, as fontes de poluição aumentam com a expansão das cidades e causam a contaminação da água, do ar e do solo.

Sobre isso Araújo, Teles e Lago (2009) acrescentam que um dos maiores desafios para as políticas de controle ambiental são as ações que ocorrem de forma indisciplinada, tais como o desmatamento para implantação de plantações e pastagens, ligadas às atividades agroindustriais, e as mineradoras, além de outras que exercem influência sobre o uso e cobertura da terra. Assim, devido às diversas problemáticas que o uso e ocupação, constituídos de forma desordenada, trouxeram ao meio ambiente, estes têm se tornado um tema frequente nos diversos níveis do conhecimento.

O conhecimento sobre os impactos gerados por ações de ocupação desregradadas é de fundamental importância para a os órgãos de controle e planejamento. Ross (1990), na década de 1990, apontava sobre a necessidade da adoção de uma postura voltada ao preventivo, antevendo a degradação

generalizada do ambiente. Uma vez que, o custo é bem menor do que a recuperação de um quadro ambiental deteriorado, gerado pelas ações humanas no ambiente natural ou modificado, que causa impactos em diferentes níveis e alterações com graus diversos de agressão ambiental.

Sendo uma ferramenta de muito valor, para Rodríguez (2000) o sensoriamento remoto é de amplo proveito à administração e ao planejamento para uma ocupação ordenada e racional das áreas físicas, pois possibilita a avaliação, o monitoramento e a caracterização do meio, voltados à preservação de áreas de vegetação natural submetidas ao processo de antropismo. Estas informações, conseguidas de imagens de satélites, serão relevantes se possuírem a órbita do ponto, a data de passagem, o formato da imagem, as bandas utilizadas no *software*, mapas ou cartas de referências, de tal forma que preencha todas as lacunas do banco de dados formado para o levantamento local (SANTOS, 2004).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) define as categorias de uso da terra através da classificação estabelecida no Manual Técnico de Uso da Terra – IBGE (2013), listada a seguir:

- a) Áreas Urbanizadas – são áreas estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam áreas não agrícolas;
- b) Lavoura – são áreas onde ocorre a cultura de plantas de curta ou média duração, lavoura temporária, ou de ciclo longo, lavoura permanente;
- c) Pecuária – produção de animais domésticos com objetivos econômicos;
- d) Floresta – consideram-se como floresta as formações arbóreas, floresta aberta, floresta estacional e semi decidual e savana (cerradão);
- e) Reflorestamento – formação ou plantio de maciços florestais com espécies nativas;
- f) Campestre – as formações não arbóreas com diferentes categorias de vegetação fisionomicamente predominante arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo- lenhoso;
- g) Represas ou reservatórios – represamento artificial para fornecimento de água, geração de energia elétrica, controle de enchentes, utilizado na agricultura para irrigação.

Em uma escala local os fatores, como crescimento urbano, dependem de um planejamento em escala regional para um desenvolvimento sustentável. Assim, podem-se considerar tendências, através do monitoramento ambiental, e atividades que ameaçam a qualidade do meio ambiente (MASCARENHAS; RAMOS; NUNES, 2012).

Ao se definir quais são as aptidões da bacia hidrográfica, o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, bem como do uso e ocupação das terras, devem ir adiante do enfoque municipal, demandando uma coordenação de múltiplas esferas de poder, para as decisões locais, uma vez que certas atividades poderão ser estimuladas em detrimento a outras (CARTER; KREUTZWISER; LOE, 2005).

Segundo Stephan (2007) e posteriormente Silva e Teixeira (2009), o Plano Diretor Municipal é o Instrumento que regula o planejamento do uso e ocupação do solo no Brasil, descentralizando e incorporando a tomada de decisão, a participação de diversos atores e a inclusão da variável ambiental.

Com a aprovação da Política Nacional Urbana, pela Lei Federal 10.257 de 10 de julho de 2001 que estabelece o Estatuto das Cidades e regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, atribuiu-se à competência de legislar sobre o uso e ocupação do solo aos municípios no Brasil, contudo, a gestão de recursos hídricos está ligada à União e aos Estados (BRASIL, 1988, 2001).

Entretanto, observa-se uma desarticulação entre os poderes, refletindo na deslegitimação do planejamento e da gestão das cidades brasileiras. A articulação de políticas públicas é um dos aspectos primordiais objetivado pelas instituições e agentes políticos abrangidos, quando em nível regional, na integração de sistemas de gestão territorial. Busca-se evitar um conflito entre os instrumentos políticos ambientais e urbanos brasileiros, que com a presença de diferentes objetivos, muitas vezes opostos, não obtêm plena eficácia na implementação de suas propostas. (PERES; SILVA, 2010).

Contudo, segundo Albrecht (2013), ao revisar a legislação da Alemanha sobre a gestão de bacias hidrográficas, o fato de existir bases legais para as ferramentas de planejamento tende a motivar o sucesso de práticas conservacionistas, em função da obrigatoriedade em se atender aos requisitos previstos.

O tipo de ocupação do solo nas diversas partes da terrestre, afeta o meio ambiente e, conseqüentemente, as atividades do homem. Portanto, o conhecimento



do tipo e forma de ocupação é muito importante para a programação de atividades que visam o desenvolvimento agrícola, econômico, social e ambiental da área a ser estudada.

## 2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

Existem muitas definições para o Sensoriamento Remoto (SR), contudo, a mais bem aceita e adotada pela comunidade científica e a qual este trabalho segue, é a proposta por Evelyn Novo:

“Podemos [...], definir Sensoriamento Remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 2010, p. 28).

As informações resultantes destes sistemas são utilizadas para a geração de imagens da superfície, permitindo a aquisição de dados sem a necessidade do contato físico entre o analista e o alvo existente na imagem (RICHARDS; JIA, 2006).

Outros autores apresentam diferentes definições, para Meneses e Alameida (2012), historicamente, a denominação Sensoriamento Remoto é empregada para designar o desenvolvimento de tecnologia de instrumentos capaz de capturarem imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Razão pela qual, nas palavras dos autores “Sensoriamento Remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto” (MENESES; ALMEIDA, 2012, p. 3).

A definição científica, de sensoriamento remoto, é explícita ao afirmar que o objeto imageado é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética, como por exemplo, a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto (NOVO, 2010).

A Figura 2 ilustra esquematicamente a sistemática de trabalho do SR, com a representação de um satélite capturando imagens, através de seus sensores, as quais são disponibilizadas para os usuários finais de tais produtos, que as acessam por meio de softwares dedicados ao Processamento Digital de Imagens (PDI).

Figura 2 - Esquema de Trabalho do Sensoriamento Remoto



Fonte: Medeiros (2017).

Segundo Steffen (1996), as imagens obtidas em faixas espectrais adequadas propiciam um máximo de discriminação entre os alvos e sua vizinhança, conseguindo e constituindo um meio rápido, econômico e eficiente para a detecção dos mesmos na região a ser analisada. Ainda Steffen (2006), considera que as características dos alvos naturais se manifestam de forma característica no fluxo de radiação eletromagnética que emitem ou refletem. Consequentemente, o avanço das pesquisas sobre novos sensores fez com que o número de informações disponíveis, sobre uma mesma cena, aumentasse. Com isso, as técnicas de inspeção visual tornaram-se insuficientes para processar o volume de dados contidos nas cenas a serem analisadas na fotointerpretação. Contudo, paralelamente, ocorreu o desenvolvimento da ciência da computação e o nascimento de computadores capazes de armazenar, classificar e calcular grande volume de dados (NOVO, 2010).

Segundo Crósta (1992), os dados obtidos por processos de sensoriamento remoto, podem ser analisados de diversas maneiras em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). As interpretações relacionadas ao PDI são obtidas de forma automática, através de algoritmos de classificação baseados na resposta espectral registrada nos pixels ou áreas homogêneas, ou via interpretação visual.

Apenas com a utilização de um SIG é que os dados de sensoriamento remoto podem ser integrados aos dados reais de campo, pois este pode proporcionar ferramentas computacionais para que diversos analistas possam integrar dados geográficos e definirem possíveis mudanças espaciais e temporais de

acontecimentos naturais ou antrópicos em um espaço geográfico, bem como as possíveis inter-relações entre fenômenos distintos (ASSAD, 1998).

As atuais tecnologias, disponíveis nos novos equipamentos de sensores remotos, nas novas metodologias de PDI e análise em SIG, impulsionam avanços da geotecnologia. Desta forma, esta vem adquirindo maior robustez na análise e monitoramento da cobertura terrestre, dando suporte à tomada de decisões mais eficientes e confiáveis, ao tornar possível a compreensão do comportamento na dinâmica da superfície terrestre em diferentes escalas (TONELI; CARVALHO; ACERBI JUNIOR, 2009).

Dias et al. (2002) afirmam que a análise dos diversos elementos que coexistem na superfície terrestre, entre eles a hidrografia, o tipo de solo, a vegetação e a forma do terreno, é realizada com a utilização de abordagens individualizadas. Contudo, os dados podem ser agrupados de tal forma que possam ser analisados em conjunto, partindo-se de uma metodologia que possa estruturar e avaliar os alvos por similaridade e correlação e, desta forma, possibilita o agrupamento em unidades de geoambientes.

Neste contexto, Francelino (2004), em estudos sobre os geoambientes antárticos, destaca a importância fundamental dos dados de sensoriamento remoto, pela sua capacidade de trabalhar simultaneamente com diferentes informações espaciais, gerados por sensores passivos e ativos, para a caracterização e compreensão de tais geoambientes.

Tão importantes quanto um SIG ou o PDI são os equipamentos que capturam as informações. Jensen (2009) descreve algumas características fundamentais de sensores utilizados em sensoriamento remoto, apresentando os sensores passivos como equipamentos que registram a energia eletromagnética proveniente do Sol refletida ou emitida pela superfície, e os sistemas ativos como equipamentos que independem da energia eletromagnética proveniente do Sol ou das propriedades termais da Terra, portanto, são capazes de gerar a própria energia eletromagnética, capturando informações a qualquer momento.

Ainda segundo o referido autor, os radares obtêm dados através de um sistema composto por três etapas principais. Inicialmente, o sensor emite a energia eletromagnética na faixa das micro-ondas em direção à superfície, que ao atravessar a atmosfera é pouco afetada mesmo com a presença de nuvens. Em seguida, esta energia eletromagnética interage com a superfície, resultando no

retroespalhamento e finalmente sendo registrada pelo receptor do sensor. Posteriormente, os radares utilizados em sensoriamento remoto obtiveram um grande avanço com o desenvolvimento do sistema de radar com abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar - SAR*), que simula uma antena de grandes dimensões, capaz de ampliar a capacidade de extrair informações da superfície, através da sintetização eletrônica.

Ao se interpretar imagens orbitais obtêm-se mapas temáticos, atualizados e precisos, de forma rápida, das mais diversas estruturas resultantes do processo de uso e ocupação do solo. Isso constitui uma técnica de grande valor à administração e planejamento da ocupação racional do meio físico, possibilitando o monitoramento e avaliação da preservação em áreas de vegetação nativa (RODRÍGUEZ, 2000). De forma análoga, Saito (2009) enuncia que dados de sensoriamento remoto auxiliariam o monitoramento e a representação de alvos na superfície terrestre, constituindo uma ferramenta de grande importância na análise ambiental.

A integração de dados georreferenciados e a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, mostram-se adequadas na determinação de múltiplos parâmetros que incidem na definição de uso e ocupação das terras em estudos com microbacias, mostrando-se uma ferramenta eficaz para o planejamento do uso do solo (ALVES; ROSSETE, 2007). Portanto, objetivando a compreensão da dinâmica ambiental de uma bacia, é imperativa a elaboração de estudos sobre o uso e ocupação do solo, utilizando-se do sensoriamento remoto, propiciando a possibilidade de evolução histórica dessa ocupação e a geração de riquíssimas informações espaciais (VALE JÚNIOR et al., 2009). Os mesmos autores ressaltam que as técnicas de sensoriamento remoto constituem uma ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos e permitem a caracterização e quantificação dos ambientes aquáticos e do uso da terra nas áreas adjacentes.

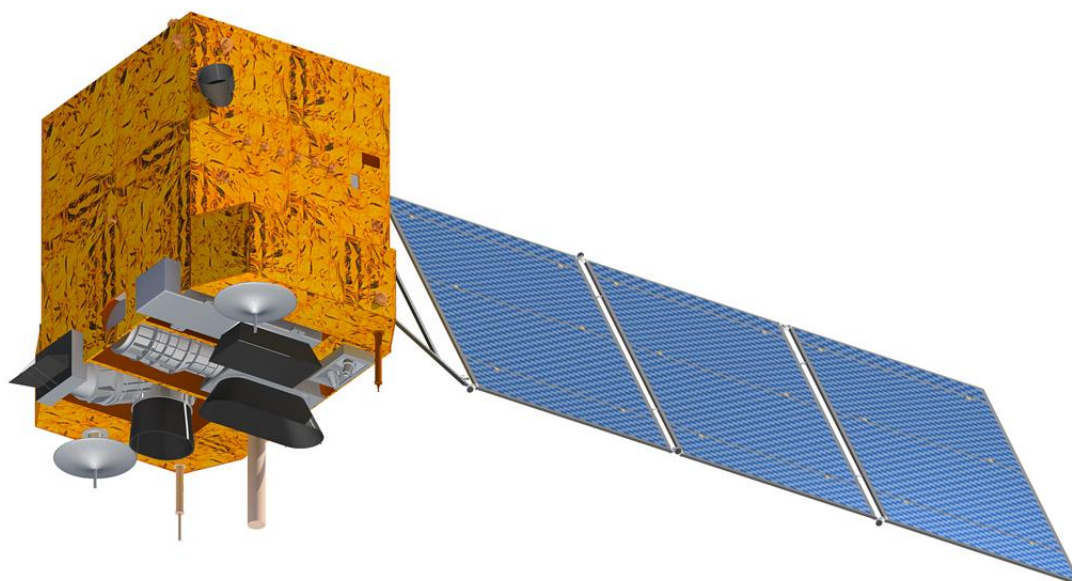
#### **2.4.1 Imagens Orbitais, Satélite CBERS-4**

Há uma crescente necessidade de obtenção de dados sobre a superfície da Terra. O uso de imageamento por satélite é uma das únicas alternativas viáveis a atender tais necessidades nos campos da agricultura, meio ambiente, costas marítimas, florestas, etc. Tanto o Brasil como a China têm territórios extensos, com diversas fisionomias e problemas passíveis de serem observados e analisados por

dados orbitais de sensores remotos. Essas considerações levaram o Brasil e a China a estabelecer um programa de desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto, que teve início em 1988 (EIPHANIO, 2009).

Após os lançamentos dos primeiros satélites do Programa Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, missão denominada como CBERS (*China-Brazil Earth-Resources Satellite*, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), em 2002 ocorreu a definição pela continuidade da missão. Os CBERS-3 e 4 (Figura 3) constituem-se em nova família de satélites, uma vez que houve uma nova divisão de trabalho, uma nova concepção de sensores, e um novo arranjo na partição de custos entre o Brasil e a China, anteriormente 70% eram de responsabilidade da China, agora é de 50% para cada país (EIPHANIO, 2009).

Figura 3 - Satélite CBERS - 4



Fonte: divulgação CBERS, INPE (2014).

Como o maior interesse deste trabalho está relacionado aos sistemas imageadores, é sobre esses que se discorrerá a seguir. O Brasil é responsável pelas câmeras Multiespectral Regular (MUX) e Câmera de Campo Largo (WFI), enquanto a China é responsável pelo Imageador Multiespectral e Termal (IRS) e pela Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN).

O primeiro sensor é a câmera brasileira MUX. Sua principal função é manter a continuidade dos imageamentos feitos pelos sensores CBERS anteriores. É o

sensor que assegura o recobrimento global do CBERS numa resolução espacial padrão a cada 26 dias. A MUX não possui capacidade de visada lateral, sendo que essa capacidade foi transferida para a câmera PAN. A segunda câmera imageadora a bordo do CBERS-4 é a PAN. Essa câmera tem uma faixa de imageamento de 60 km, sendo a câmera de melhor resolução espacial a bordo, com resolução espacial de 5 metros na banda pancromática e de 10 metros nas multiespectrais. O IRS é um sensor de varredura mecânica com resolução espacial de 40 metros nas bandas pancromática e do SWIR (infravermelho de ondas curtas) e para 80 metros na banda termal. A Tabela 1 apresenta as características das câmeras do CBERS-4.

Tabela 1 - Características das Câmeras do CBERS-4

Características	MUX	PAN	IRS	WFI
	0,45-0,52µm (B)	0,51-0,85µm (Pan)	0,50-0,90µm (Pan)	0,45-0,52µm (B)
	0,52-0,59µm (G)	0,52-0,59µm (G)	1,55-1,75µm (SWIR)	0,52-0,59µm (G)
Bandas Espectrais	0,63-0,69µm (R)	0,63-0,69µm (R)	2,08-2,35µm (SWIR)	0,63-0,69µm (R)
	0,77-0,89µm (NIR)	0,77-0,89µm (NIR)	10,40-12,50µm (TH)	0,77-0,89µm (NIR)
Resolução	20 m	5 m / 10 m	40 m / 80 m (TIR)	64 m
Largura da Faixa Imageada	120 km	60 km	120 km	866 km
Apontamento	Não	±32°	Não	não
Revisita	26 dias	5 dias		
Revisita real	26 dias	não	26 dias	5 dias
Quantização	8 bits	8 bits	8 bits	10 bits
Taxa de Dados Bruta	68 Mbit/s	140 Mbit/s	16 Mbit/s	50 Mbit/s
		100 Mbit/s		

Faixas Espectrais: Azul (B), Verde (G), Vermelho (R), Infravermelho Próximo (NIR), Pan, Infravermelho de Onda Curta 1 (SWIR), Infravermelho de Onda Curta 2 (TH), Infravermelho Termal (TIR).

Fonte: divulgação CBERS, INPE (2014), adaptado pelo autor.

A WFI tem a propriedade de fazer rápidas revisitas, em geral em menos de cinco dias. Sendo apropriado para atividades de monitoramento e vigilância, capaz de funcionar como complemento tanto a outros sensores de maior capacidade de revisita, quanto aos sensores com menor capacidade de revisita ou às próprias câmeras dos CBERS-4. Possui uma resolução de 64 metros no nadir e a capacidade de rápida revisita, por apresentar um grande campo de visada. Com isso

a WFI/CBERS-4 apresenta grande potencial de uso e inclusão de novos usuários e aplicações.

Com essas características, o satélite é utilizado para aplicações ambientais, que necessitam de grande revisita (por exemplo, programas de monitoramento de desmatamento) e as que necessitem de detalhes, como aquelas envolvendo reserva legal e área de proteção permanente (EPIPHANIO, 2011).

#### 2.4.2 Modelagem Topográfica e Sensoriamento Remoto

Para Wood (1996), a altimetria, a declividade e o perfil do terreno são os parâmetros mais utilizados na modelagem da superfície terrestre, algo que o homem sempre buscou ferramentas e técnicas para parametrizar e descrever com precisão.

Dentre as técnicas utilizadas para a representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real pode-se destacar o Modelo Numérico de Terreno (MNT). Dentre alguns usos do MNT pode-se citar os apontados por Burrough<sup>3</sup> (1986), apud Felgueiras (2001):

- a) Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos;
- b) Análises de corte e aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e de erodibilidade;
- d) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- e) Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Assad (1998) afirma que o MNT está associado a altimetria do terreno, permitindo a representação tridimensional da superfície terrestre.

A utilização de cartas topográficas analógicas digitalizadas e importadas em sistemas de informação geográfica para gerar o MNT foi utilizada em diversos trabalhos que envolveram mapeamentos temáticos e zoneamento ecológico-econômico (CREPANI et al., 2001). Valeriano (2005), paralelamente à disponibilização dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*, Missão Topográfica do Radar do Ônibus Espacial) pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*, Agência Espacial Norte Americana), recomendou sua

---

<sup>3</sup> BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Oxford University, p. 193, 1986.

utilização e integração com cenas de sensores multiespectrais, como TM-Landsat e CCD-CBERS.

Os dados SRTM são o resultado de uma missão espacial conjunta da NASA, da NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*, Agência Nacional de Informação Geoespacial), da DLR (*Deutschen Zentrums für Luft-und Raumfahrt*, Agência Espacial Alemã) e da ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*, Agência Espacial Italiana), com a finalidade de gerar, através de interferometria, um Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície terrestre. Sua missão cobriu toda a superfície terrestre utilizando a banda C e X (RABUS et al., 2003). Os dados SRTM possuem um vasto potencial de aplicações. Com uma resolução espacial de 90m, para Valeriano (2004), trata-se de um produto com maior precisão que os derivados do RADARSAT-1, com resolução espacial de 1000m, podendo-se obter diversas variáveis fisiográficas além da altimetria, como declividade e orientação de vertentes, com a utilização dos produtos altimétricos SRTM.

Também Valeriano (2003), em trabalhos relacionados a modelagem de terreno, desenvolveu e avaliou procedimentos para mapear a curvatura vertical de vertentes a partir de modelos de elevação com recursos de sistemas de informação geográfica, concluindo que a curvatura vertical de vertentes pode ser calculada sobre modelos digitais de elevação, e que apesar das possíveis imprecisões geradas durante o processamento digital, os resultados foram coerentes com a verdade de campo.

## 2.5 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Ortiz (1993) enunciou que o termo geoprocessamento passou a ser empregado com a instrumentação de dados espaciais georreferenciados. Sua conceituação se tornou possível com a introdução e desenvolvimento de sistemas computadorizados através de ferramentas denominadas Sistemas de Informações Geográficas.

O termo geoprocessamento também se relaciona à uma disciplina do conhecimento que emprega técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Portanto, em regra, um sistema de geoprocessamento tem por finalidade o processamento de dados georreferenciados (referenciados geograficamente), desde a sua coleta até a geração de saídas em



forma de relatórios, arquivos digitais, mapas convencionais, etc. Necessariamente, um SIG deve possuir recursos para a estocagem de dados, gerenciamento, manipulação e análise. Assim, esta tecnologia tem exercido influência de forma crescente, nas áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Quando associado ao Sensoriamento Remoto, pode ser utilizado para monitoramento ambiental (ASSAD, 1998).

Thomé (1998) definia o geoprocessamento como uma área relativamente recente e em consolidação, considerando seu contexto dinâmico, portanto, sujeito a discussões e questionamentos entre as várias visões, entendendo que a padronização deste universo é um processo em desenvolvimento.

Conforme Dainese (2001), o geoprocessamento procura abstrair o mundo real, transferindo de forma ordenada suas informações para um sistema computacional, arquitetada sobre bases cartográficas, por meio de um sistema de referência apropriado. A autora vai além, destacando que com a evolução da tecnologia de geoprocessamento e de *softwares* gráficos, diversos termos surgiram para as mais variadas especialidades, contudo, o termo SIG é amplamente utilizado e, em muitos casos, confunde-se com geoprocessamento. Contudo, o conceito de geoprocessamento é mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados referenciados geograficamente, enquanto que um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), enfatizando análises espaciais e montagens de superfícies.

O conceito de geoprocessamento pode ser ampliado ao se convergir várias disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, o que a torna uma tecnologia interdisciplinar ou, ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas da ciência (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Assim, o geoprocessamento, aliado a um SIG, passa a constituir uma ferramenta de grande valor, essencial para o levantamento e monitoramento das feições ambientais, ajudando no gerenciamento dos estudos de dinâmica da paisagem, em ações fiscalizadoras, e mesmo de sensibilização ambiental. Ao fornecer dados para a avaliação das condições das matas ciliares, preservadas ou não, fundamentam-se as tomadas de decisões no que se refere à reposição e

recuperação das mesmas, subsidiando assim, ações por parte dos órgãos ambientalistas fiscalizadores (VESTENA; THOMAZ, 2006).

Ao se realizar análises e/ou estudos com a utilização de SIG's e que envolvam o geoprocessamento, serão geradas grandes quantidades de informações, boa parte das quais estão relacionadas a uma posição ou área geográfica, exigindo métodos de integração e análises não convencionais, de tal forma que possam possibilitar a redução da subjetividade nos resultados das análises realizadas na região em foco. Um SIG possibilita a integração de informações espaciais e não espaciais de natureza, origem e forma distintas em uma base de dados única, permitindo a derivação dos dados em novas informações e sua visualização na forma de mapas físicos (ARONOFF, 1991<sup>4</sup>; BURROUGH, 1992<sup>5</sup> apud WEBER et al., 1998; CÂMARA et al., 1996). Essas características passam a lançar estes aplicativos cada vez mais em estudos envolvendo o planejamento e o gerenciamento dos recursos naturais, tornando-os ferramentas valiosas.

A diferença fundamental entre um SIG e um sistema de informação convencional consiste na capacidade do SIG em armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diversos tipos de dados geográficos (CASANOVA et al., 2005).

O monitoramento de áreas em função do uso do solo é um dos grandes diferenciais que um SIG em associação a uma base de dados georreferenciada, ou seja, técnicas de geoprocessamento podem apresentar. Nascimento et al. (2005) afirmam que o monitoramento das áreas de preservação permanente apresenta-se como um amplo desafio sobre o aspecto técnico e econômico, uma vez que os critérios de delimitação baseados na topografia evocam pessoas especializadas e informações precisas sobre a unidade espacial em foco. Entretanto, conforme Oliveira (2002), com o incremento de sofisticados algoritmos e a sua incorporação às ferramentas SIG tem possibilitado o processamento rápido e eficiente das informações necessárias para caracterizar as variáveis morfométricas da área, fundamentais para a avaliação das intervenções antrópicas em bacias hidrográficas.

---

<sup>4</sup> Aronoff, S. 1991. Geographic information systems: a management perspective. WDL publications. Ottawa, Canadá. 294p.

<sup>5</sup> Burrough, P.A. 1992. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University press. Oxford. 194p.

Para Serigatto et al. (2007), o SIG tem a capacidade de promover o direcionamento das atividades decorrentes de uma tomada de decisão sobre a gestão de uma bacia hidrográfica, constituindo uma ferramenta importante para tomada de decisão. De forma semelhante, Catelani e Batista (2007) utilizaram SIG para mapeamento de áreas de preservação permanente e concluíram que se trata de um conjunto de aplicações essencial para a verificação e mapeamento de áreas de preservação permanente em escala regional ou municipal. Assim, Oliveira et al. (2007), afirmaram que o emprego de um SIG para originar e realizar o cruzamento de diversos níveis de informações proporciona uma eficiência muito grande e, principalmente, ganho de tempo e agilidade.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresenta-se a metodologia utilizada para o tratamento e estudo dos dados e materiais obtidos em pesquisas.

#### 3.1 MAPAS: FRAGILIDADE POTENCIAL E FRAGILIDADE EMERGENTE

A pesquisa desenvolvida teve por objetivo demonstrar o estado ambiental em que se encontra a microbacia do alto do rio Sarandi, ou seja, seu grau de fragilidade ambiental. Para tanto, os procedimentos metodológicos foram baseados na proposta de Ross (1994), com adaptações e a utilização de ferramentas para o geoprocessamento, conforme os trabalhos de Crepani et al. (2001), Cruz, Pinese Júnior e Rodriguiz (2010), Franco et al. (2012), Oliveira et al. (2012) e Pachechenik et al. (2013).

Os parâmetros propostos por Ross (1994) requerem o levantamento de alguns documentos e elaboração do seguinte material cartográfico:

- a) Carta de declividade média das vertentes com cinco classes;
- b) Carta simplificada da litologia e características do manto de alteração;
- c) Carta de uso da terra e cobertura vegetal;
- d) Carta dos elementos das formas de relevo e marcas de processos erosivos;
- e) Análise dos dados pluviométricos.

Além destes documentos, para este estudo, foram ainda elaboradas as cartas de fragilidade potencial e de fragilidade emergente.

No presente estudo, para obter-se a fragilidade potencial foram realizados o cruzamento das cartas de declividade e a carta de solos. A partir desse resultado efetuou-se o cruzamento desta carta síntese com a carta de uso do solo, obtendo-se como produto final a carta de fragilidade emergente.

Para confeccionar estes documentos Ross (1994) propõe a utilização de meios como: cartas topográficas, fotos aéreas na escala 1:25.000, carta geológica e dados pluviométricos mensais.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados como materiais para a confecção das cartas os seguintes meios:

- a) Cartas topográficas na escala 1:50.000;
- b) Dados SRTM;
- c) Imagens CBERS-4, sensor MUX (20 metros) e PAN (5 metros);
- d) Dados pluviométricos;
- e) Dados de solos.

Para realizar o processo de vetorização e organização do banco de dados da pesquisa, foi utilizado *software ArcGIS Desktop* da ESRI. A partir destes materiais e com trabalhos de campo foram desenvolvidas as seguintes cartas temáticas sobre a microbacia do alto do rio Sarandi:

- a) Carta de declividade;
- b) Carta de solos;
- c) Carta de fragilidade potencial;
- d) Carta de uso do solo;
- e) Carta de fragilidade emergente.

Inicialmente foram articuladas as cartas topográficas elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), do Exército Brasileiro, em 1980, com índices de nomenclatura Realeza – MI-2848/4, de DSG (1980a), e Santa Izabel do Oeste – MI-2849/3, de DSG (1980b), nas quais está inserida a área de estudo desta pesquisa, disponibilizadas pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITGC) no sitio [www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br).

Na sequência as cartas, disponibilizadas em formato digital, e arquivos de imagem foram importadas no SIG para proceder ao georreferenciamento da mesma, onde então se procedeu à vetorização em tela de pontos de interesse, da rede de drenagem, das estradas, e dos outros elementos necessários para a confecção da carta base da área de estudo. Essas informações foram armazenadas em um banco de dados sendo posteriormente manipuladas e atualizadas.

Com os dados referentes à altimetria, ou seja, com a utilização de dados SRTM conforme descrito na seção 2.4.2 e com o auxílio do *software* SIG, elaborou-se o mapa de declividade, bem como foram geradas as curvas de nível e o Modelo Digital de Elevação (MDE), apresentados na seção 3.4.2, e a delimitação da microbacia, seção 3.5.

As declividades do relevo foram separadas em cinco classes, sendo consideradas as classes apresentadas por Ross (1994), onde se tem os seguintes valores: até 6%; de 6 a 12%; de 12 a 20%; de 20 a 30%; acima de 30%.

Desta maneira com relação à carta de declividade do relevo a fragilidade ambiental foi classificada a partir das classes apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Fragilidade das Classes de Declividade

Categoria	Classes de Declividade (%)
Muito Fraca	Até 6
Fraca	De 6 à 12
Média	De 12 à 20
Forte	De 20 à 30
Muito Forte	Acima de 30

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

O mapa de solos foi obtido através do recorte de um arquivo tipo *shapefile*, disponibilizado pelo ITCG no sítio [www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br), conforme a seção 3.4.4.

Na carta de solos, cada tipo de solo foi classificado de acordo com sua fragilidade ao processo de erosão e para tal, adotou-se a metodologia preconizada por Ross (1994), com adaptações conforme Crepani et al. (2001) e Franco et al. (2012), a qual estabelece cinco classes de fragilidade, hierarquizadas em: Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte. Observa-se na Tabela 3 as classes de fragilidade dos tipos de solo.

Tabela 3 - Fragilidade dos Tipos de Solo

Classes de Fragilidade	Nomenclatura <sup>6</sup>
Muito Baixa	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico – LVdf7
Muito Baixa	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico – LVdf8
Média	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico + LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico – NVdf4
Média	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico chernossólico – NVef6
Forte	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico + CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico saprolítico + NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico – RLe12
Forte	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico + NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico + CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico saprolítico – RLe9

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Segundo Santos (2005), em estudo realizado em uma microbacia no município de Dois Vizinhos – PR, o volume de precipitação pode ser considerado

<sup>6</sup> Nomenclatura conforme a classificação elaborada para o Mapa de Solos do Estado do Paraná, disponibilizado em formato digital na página do ITGC, disponível em: < <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9> >

igual para toda a área da microbacia em função de sua pequena extensão territorial, bem como de sua disposição Oeste – Leste.

O cruzamento das cartas de declividade, tipo de solo e uso da terra tem como produto duas cartas diagnósticas, onde estão representadas as classes de fragilidade que cada área da bacia está submetida.

As cartas de fragilidade ambiental, tanto potencial como emergente apresentam cinco classes de fragilidade ambiental, que são: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. Nesse sentido na carta de fragilidade potencial os cruzamentos foram realizados a partir da álgebra de mapas entre o *raster* do mapa de declividades (RDecli) e o *raster* de tipo de solo (RSolos), utilizando-se para isso o *software* SIG. Os dados em formato *raster* foram reclassificados em função da fragilidade estabelecida para cada item, sempre variando de 1 (Muito Baixa/Fraca), a 5 (muito forte), conforme as Tabelas 2 e 3, respectivamente. Para se obter um novo *raster* com o mesmo intervalo de valores, variando de 1 a 5, foi utilizada a álgebra de mapas (calculadora *raster*), efetuando-se a soma algébrica com os valores ponderados, sendo que cada um dos dois fatores, declividade e solo, equivale a 50%, conforme Equação 1.

$$FP = RDecli * 0,5 + RSolos * 0,5 \quad (1)$$

Este cruzamento de informações de ordem natural teve como síntese a obtenção da fragilidade potencial da bacia.

As classes de uso do solo, obtidas conforme a seção 3.4.4, foram adaptadas para as situações presenciadas na área de estudo, de acordo com a proteção que cada uma oferece, a partir das classes apresentadas por Ross (1994). Contudo, tal metodologia não apresenta classificação para áreas urbanas, que por sua vez Ross (1990) classificou como “Muito Alto”. Porém, as áreas urbanas em questão não apresentam alta densidade de construções, não sendo, portanto, completamente impermeabilizadas. Apresentam vias largas com sistemas de drenagem deficitários, em muitos casos. Por essa razão, adotou-se a uma posição mais conservadora ao se classificar as áreas urbanas como sendo “Muito Baixa” proteção, pois se tratam de áreas urbanizadas com baixa impermeabilização, conforme proposto por Pachechenik et al. (2013).

A carta de uso e ocupação do solo foi reclassificada de forma semelhante ao realizado para as cartas de tipo de solos e declividade, de acordo com o respectivo grau de proteção ambiental que cada classe oferece à microbacia hidrográfica. A Tabela 4 apresenta esta reclassificação.

Tabela 4 - Proteção dos Tipos de Cobertura do Solo

Usos do Solo	Grau de Proteção
Florestas	Muito Alta
Agropecuária	Baixa
Áreas Urbanas	Muito Baixa
Solo Exposto	Muito Baixa
Lagos	Muito Baixa

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Para o mapa de fragilidade emergente foram cruzadas as informações disponíveis no mapa de fragilidade potencial com as informações do mapa de uso do solo, a partir da utilização do *software* SIG, seguindo a mesma lógica de álgebra de mapas adotada para a elaboração do mapa de fragilidade potencial, mantendo-se a mesma escala.

### 3.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

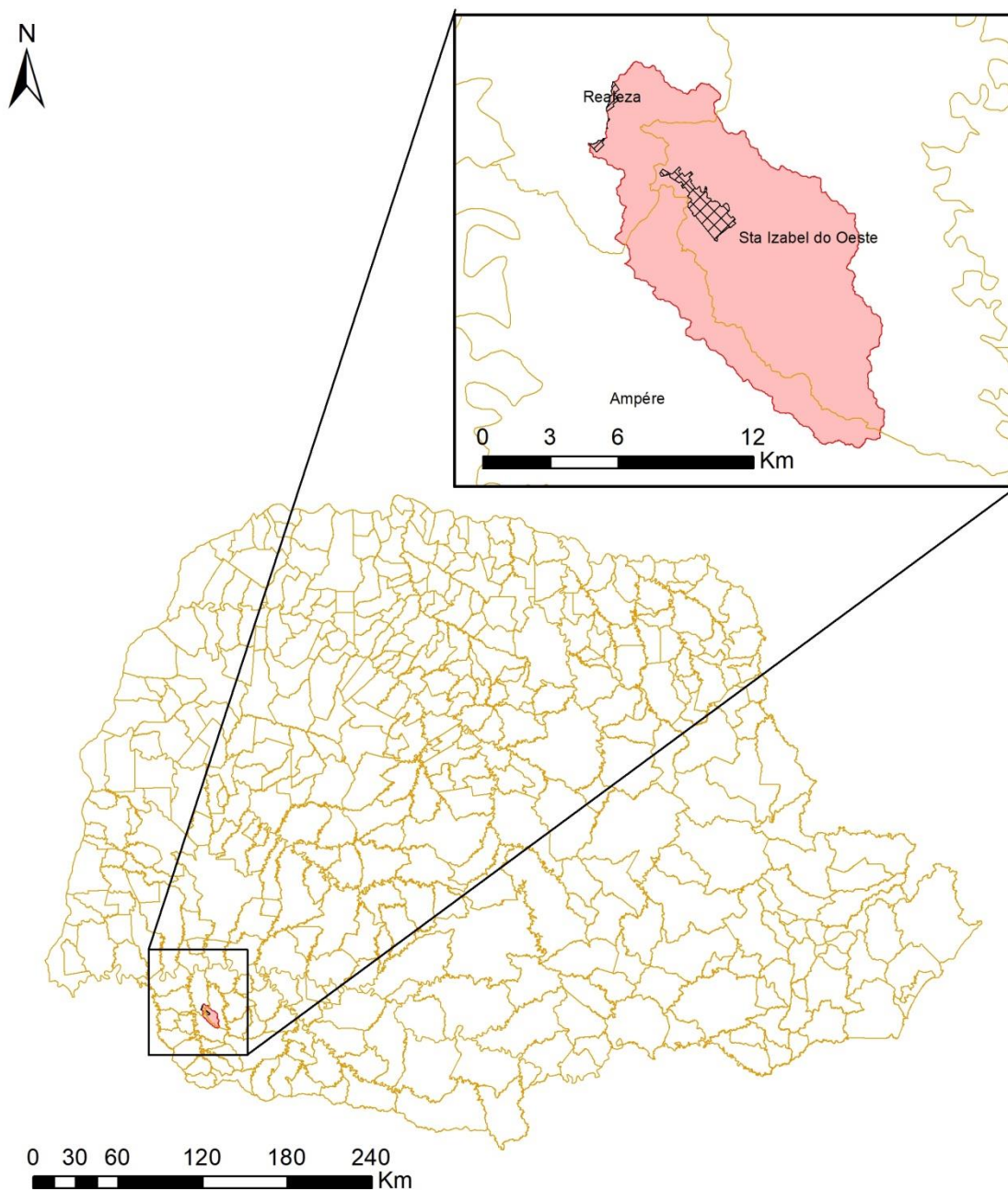
O trabalho foi desenvolvido na área de manancial de abastecimento público dos Municípios de Realeza e Santa Izabel do Oeste, sudoeste paranaense, abrangendo a parte superior da microbacia do Rio Sarandi, localizada entre os Municípios Ampére, Realeza e Santa Izabel do Oeste.

Para a escolha da área estudada, Figura 4, além de ser uma área muito importante e representativa, onde a paisagem, com o decorrer dos anos, sofreu transformações pela ação antrópica, foram observados alguns critérios, tais como: a região da microbacia hidrográfica (sudoeste paranaense); territorialidade com abrangência de dois ou mais municípios; manancial de Abastecimento Público, portanto, é uma região beneficiada pela Lei do ICMS Ecológico, ou Lei dos Royalties Ecológicos; pressão sobre os recursos naturais; e um baixo índice de cobertura florestal, sugerindo importante passivo ambiental no que se refere à reserva legal e preservação permanente.



Figura 4 - Mapa de Localização da Microbacia do Alto do Rio Sarandi

## Mapa de Localização da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
 SIRGAS 2000 UTM zone 22 Sul  
 Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

- Limites Municipais
- Microbacia Alto Rio Sarandi
- Área Urbana Realeza
- Área Urbana Sta Izabel do Oeste

Encontra-se na intersecção de duas cartas, supracitadas, folhas Realeza e Santa Isabel do Oeste, em escala 1:50.000. Situa-se geograficamente entre as coordenadas SIRGAS 2000: 53° 33' 00" à 53° 24' 00" Oeste, de longitude, e 25° 45' 00" à 25° 55' 0" Sul, de latitude, apresentando uma área territorial de 116,71 Km<sup>2</sup>, Figura 5.

A microbacia tem o rio Sarandi como o principal curso d'água, recebendo a contribuição dos afluentes, os quais os rios Anta Gorda e Sarandzinho, são os principais contribuintes. A hidrografia foi atualizada com levantamentos de campo e interpretação de imagens orbitais realizados em 2009 (PAZ, 2010).



### 3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS UTILIZADOS

No presente estudo foi realizado com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas *ArcGIS Desktop* versões 9.3 e 10.3 *Trial* da ESRI. O georreferenciamento, as composições em falsa e verdadeira cor, o recorte das imagens, a vetorização dos polígonos, a classificação em tela e a transformação dos dados vetoriais em imagem *raster* gerando o mapa de uso das terras da microbacia foram realizados pelo em ambiente do *software*. Da mesma forma, a criação do mapa das áreas de preservação permanente, o cruzamento com o mapa dos usos do solo com o de fragilidade potencial originando o mapa de fragilidade emergente.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO TERRITORIAL GEOBIOFÍSICA DA MICROBACIA DO RIO SARANDI

A região Sudoeste caracteriza-se por apresentar uma grande diversidade de ambientes em função de sua localização geográfica e de particularidades resultantes das inter-relações entre clima e relevo.

#### 3.4.1 Clima

O clima predominante da região sudoeste paranaense em locais de maiores altitudes, como a microrregião de Palmas, municípios limítrofes ao Estado de Santa Catarina, em boa parte dos Municípios de Pato Branco, Vitorino, Renascença e Flor da Serra do Sul, bem como uma estreita faixa da microrregião de Barracão e uma pequena parte de Francisco Beltrão, é o clima temperado (Cfb). Contudo, na área em estudo, a microbacia do alto do rio Sarandi, inserido na bacia do Rio Cotegipe, ou seja, a porção mais oeste (microrregião de Capanema) e nas regiões de menor altitude (grande parte da microrregião de Francisco Beltrão, até a parte da microrregião de Pato Branco, formando uma cunha ao longo do Rio Iguaçu, até o município de Mangueirinha), ocorre um clima subtropical mais quente (Cfa). O clima subtropical apresenta temperatura média no mês mais frio inferior a 18<sup>o</sup> C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22<sup>o</sup> C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. Por sua vez o clima temperado propriamente dito apresenta temperatura média no mês mais frio abaixo

de 18<sup>o</sup> C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22<sup>o</sup> C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

Na Tabela 5 é possível observar que na última década houve momentos de estiagens e de altas precipitações (médias mensais), no entanto muitos destes registros ocorreram de forma mal distribuídos, tanto pela falta quanto excesso.

Tabela 5 - Alturas Mensais de precipitação

Estação:	Alto União	Código:	2553047	Entidade:	Águas Paraná
Município:	Santa Izabel do Oeste	Instalação:	19/02/1976	Extinção:	
Tipo:	P	Bacia:	Iguaçu	Sub-bacia:	7
Altitude:	400,000 m	Latitude:	25° 40' 59"	Longitude:	53° 28' 00"

Alturas Mensais de precipitação (mm)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2007	265,3	252,9	107,9	310,7	262,3	14,4	113,3	17,1	22,0	122,3	214,5	160,2
2008	128,4	86,4	98,4	186,0	81,9	194,7	61,8	140,0	130,8	287,2	171,6	28,2
2009	177,8	115,2	25,7	38,4	255,7	122,3	144,2	252,4	215,7	271,0	140,2	206,2
2010	127,5	208,1	216,9	189,4	103,6	63,8	136,4	28,0	63,3	249,6	113,9	372,9
2011	84,6	123,4	179,7	95,1	25,3	96,6	251,0	285,2	129,0	297,2	131,5	35,5
2012	247,8	213,3	82,8	286,2	62,5	174,3	139,4	0,0	51,3	211,8	47,8	291,1
2013	199,9	242,1	362,0	82,9	266,4	409,6	55,3	122,3	228,9	250,1	162,7	68,5
2014	153,9	132,5	384,8	156,8	227,9	532,1	179,0	12,2	296,0	103,3	126,0	148,7
2015	202,9	285,0	105,1	65,0	150,1	120,1	352,7	24,0	112,1	107,6	214,3	345,7
2016	145,3	231,4	153,8	72,6	182,7	40,9	72,6	164,2	46,2	228,2	145,6	154,5

Valores anuais (mm)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média	173,3	189,0	171,7	148,3	161,8	176,9	150,6	104,5	129,5	212,8	146,8	181,1
Mín.	84,60	86,40	25,7	38,4	25,3	14,4	55,3	0,0	22,0	103,3	47,8	28,2
Máx.	265,3	285,0	384,8	310,7	266,4	532,1	352,7	285,2	296,0	297,2	214,5	372,9
D. P.	53,1	65,1	112,8	89,7	85,5	158,4	87,5	99,5	86,2	70,9	46,5	116,7

Fonte: Adaptado de Instituto das Águas do Paraná (ÁGUAS PARANÁ, 2017).

Episódios como este se constituem ameaças constantes à infraestrutura e ao ambiente da microbacia, ampliando a complexidade e necessidade de integração de estudos para buscar uma proposta de sustentabilidade.

Conforme Santos, Edelson (2005), em estudo realizado em uma microbacia no município de Dois Vizinhos – Pr, o volume de precipitação pode ser considerado

igual para toda a área da microbacia em função de sua pequena extensão territorial, bem como de sua disposição Oeste – Leste. Sendo que há similaridades entre os estudos, foi considerado que a variável climática não apresenta interferência de forma significativa.

### 3.4.2 Relevo

O mapa de curvas de níveis representa as feições morfoestruturais da área, permitindo ter uma visão de seu contorno e os encaixes da rede de drenagem, evidenciando sua topografia, cuja parte mais elevada possui altitude de 640 m, porém de pequena superfície. Os intervalos de altitudes representados pelas curvas de nível indicam que a maior parte da área esta entre 430 a 650 m.

O estudo de altimetria possibilita o fatiamento e confecção de mapa temático por curva de nível e geração de imagem tridimensional na categoria hipsometria, além da precisa identificação do relevo. Permite a delimitação da maior cota (espigão), na direção do Rio Sarandi, desde a sua nascente até a estação de tratamento.

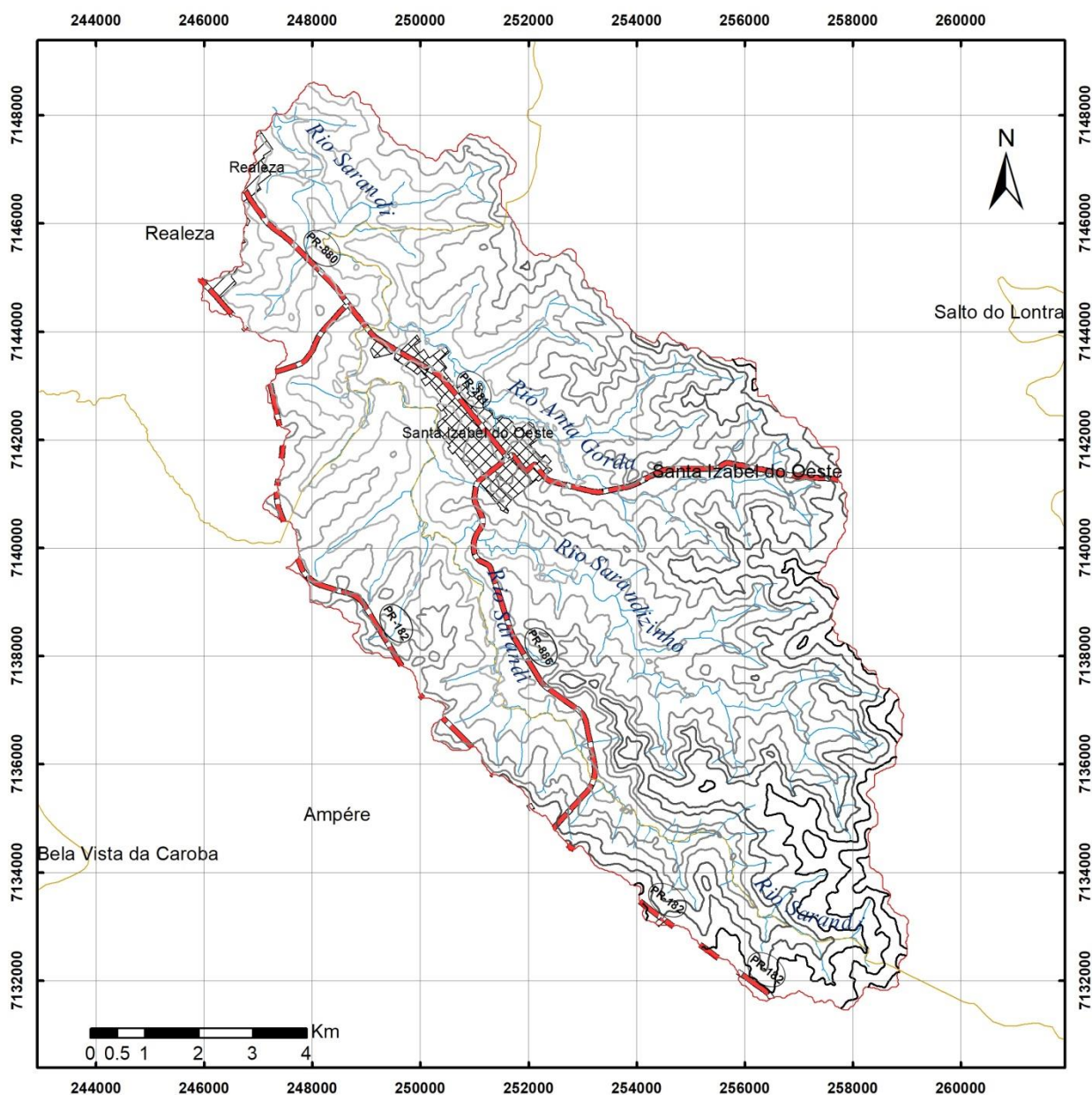
O presente trabalho adotou dados de altimetria disponibilizados pela NASA, provenientes da missão SRTM com resolução espacial de 1 (um) arco de segundo (obtido por interpolação dos dados SRTM de três arcos de segundo), conforme NASA (2016), disponibilizados em seu sitio eletrônico. Assim, as curvas de nível foram obtidas com o espaçamento de 10 (dez) metros, Figura 6, através do processamento de dados *raster* no *software ArcGIS Desktop* da ESRI.

Para tal, foram utilizadas as folhas “s26\_w054\_1arc\_v3” e “s27\_w054\_1arc\_v3”, cada uma com aproximadamente 25,0 Mb de tamanho em disco, com resolução espacial (pixel) de 30 metros e 16 bit *signed integers*.

Os dados *raster* originalmente encontram-se disponíveis na projeção UTM WGS 1984, no fuso 22, com meridiano central  $-51^{\circ}$ , porém, orientados para o Norte (UTM WGS 84 22N). O dado *raster* deve estar projetado em um sistema de coordenadas planas e com 16 bit *unsigned integers*.

Figura 6 - Mapa de Curvas de Nível da Microbacia do Alto do Rio Sarandi

## Mapa Curvas de Nível da Microbacia do Alto do Rio Sarandi








Sistemas de Coordenadas:  
 SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
 Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

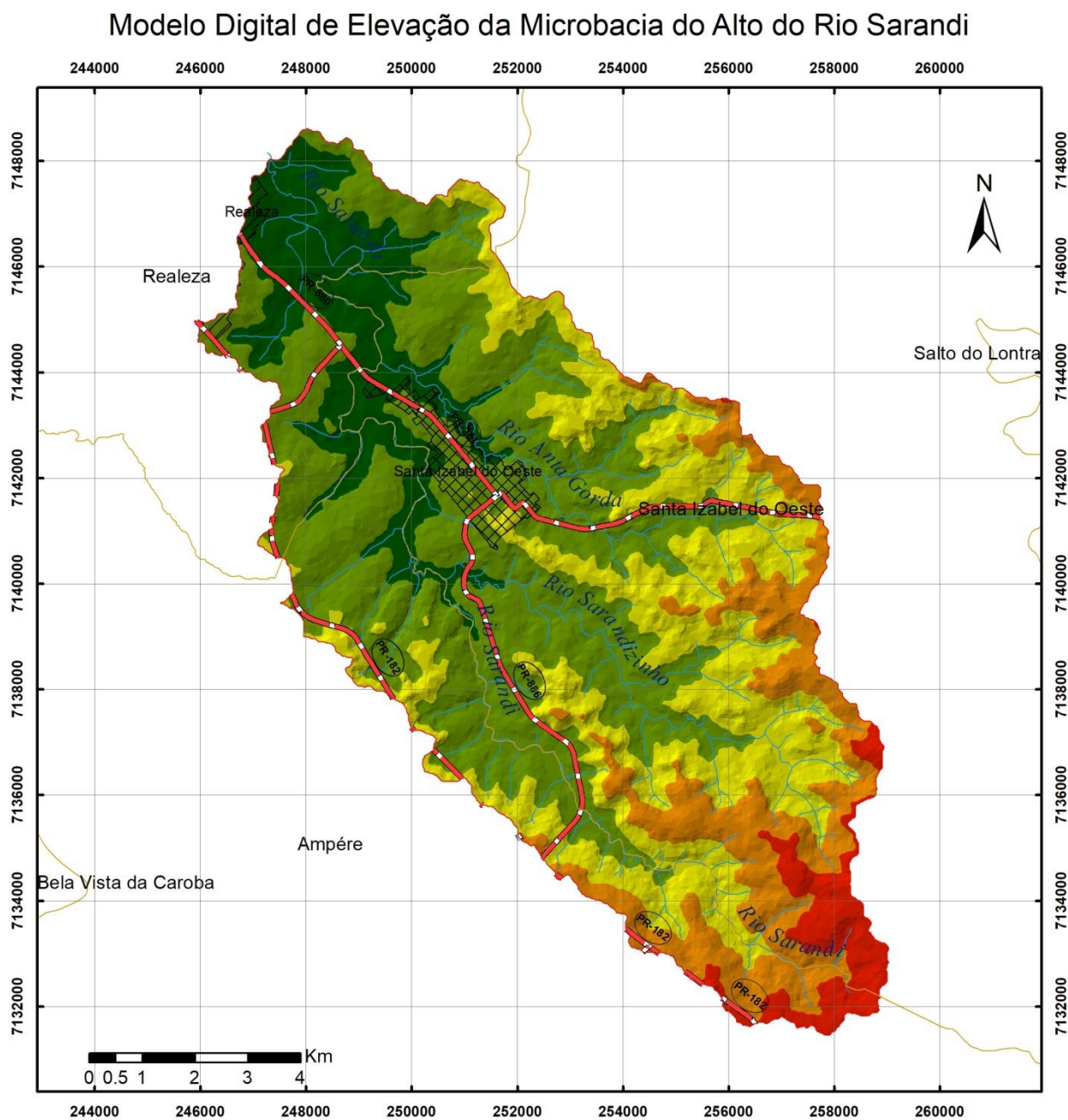
-  Limites Municipais
-  Microbacia Alto Rio Sarandi
-  Hidrografia
-  Malha Rodoviária
-  Área Urbana Realeza
-  Área Urbana Sta Izabel do Oeste

-  Curvas de Nível a cada 10 metros (m)
-  430 - 480
-  481 - 510
-  511 - 550
-  551 - 590
-  591 - 650

A Figura 7 apresenta o MDE gerado com a metodologia de redes de triangulação irregular (TIN, *Triangulated Irregular Network*), disponibilizada no módulo TIN do *software* ARCGIS *Desktop* da ESRI, que transforma o arquivo de curvas de nível em imagem *raster* (modo *tingrid*), expressando as respectivas áreas de diferentes altitudes em formato tridimensional.



Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

-  Limites Municipais
-  Microbacia Alto Rio Sarandi
-  Hidrografia
-  Malha Rodoviária
-  Área Urbana Realeza
-  Área Urbana Sta Izabel do Oeste

**Modelo Digital de Elevação**  
**Elevação (m)**

-  606 - 650
-  562 - 606
-  518 - 562
-  474 - 518
-  430 - 474

### 3.4.3 Hidrografia

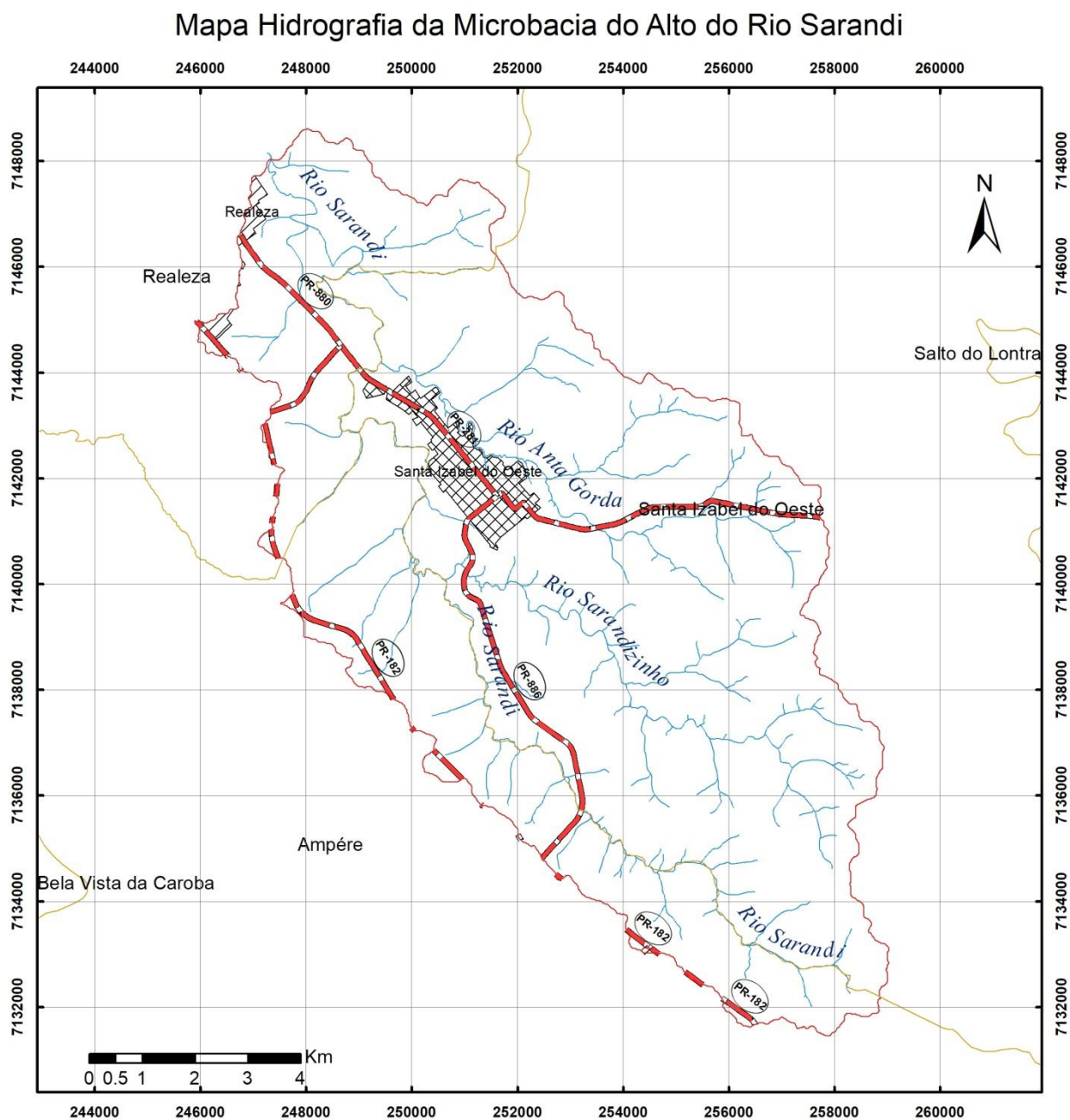
A hidrografia foi determinada com base em cartas planialtimétricas editadas pela DSG, folhas de Realeza (MI-2848/4) e Santa Izabel do Oeste (MI-2849/3), em escala 1:50.000, com a vetorização dos cursos de água perenes. No caso da microbacia do alto do rio Sarandi, o padrão de drenagem é considerado dendrítico, basicamente de terceira ordem, embora ocorram pequenos afluentes de quarta ordem. A densidade de drenagem de 1,37 km/km<sup>2</sup> indica um grau intermediário de desenvolvimento (PAZ, 2010).

O Rio Sarandi, que dá o nome à bacia, nasce no município de Ampére e seus afluentes Sarandzinho e Anta Gorda, ambos no município de Santa Izabel do Oeste. Flui sentido norte passando a sudoeste da área urbana do município de Santa Izabel do Oeste e a nordeste da área urbana do município de Realeza, percorrendo quase todo o interior do município de Realeza, paralelamente à PR 182, até a sua foz no rio Cotegipe, já nas proximidades da Usina Hidroelétrica Governador José Richa, Salto Caxias.

Considerando o formato alongado da microbacia e suas características de relevo, os cursos d'água são encaixados e a possibilidade de enchentes é baixa, porém há pontos de risco de inundações nas sedes dos municípios em áreas de ocupação de locais mal drenados, não sendo objetos deste estudo.

Em seu trabalho Paz (2010) catalogou diversas nascentes e realizou a correção do traçado de trechos dos cursos d'água, bem como constatou algumas nascentes foram drenadas e ligadas a sistemas de canalizações, da mesma forma que trechos de cursos d'água foram canalizados. Tais obras servem para ampliar as áreas agricultáveis e proporcionar facilidade de manejo das lavouras. Isso evidencia o efeito da antropização sobre a área. Em complemento à caracterização da hidrografia, foi constatado que os rios apresentam largura média de 6,0m, sendo que o Rio Sarandi pode chegar a 13,0m, próximo à unidade de captação e tratamento de Realeza. A seguir, a Figura 8 apresenta a hidrografia da microbacia do alto do rio Sarandi.

Figura 8 - Mapa representando a hidrografia da microbacia do alto do rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

#### Legenda:

- Limites Municipais
- Microbacia Alto Rio Sarandi
- Hidrografia
- Malha Rodoviária
- Área Urbana Realeza
- Área Urbana Sta Izabel do Oeste

### 3.4.4 Solo

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos permite identificar a pedologia, os tipos de solo, em até seis níveis categóricos. As propriedades que resultam diretamente dos processos de gênese dos solos, são as características diferenciais para os níveis categóricos mais elevados e que apresentam um maior número de características acessórias. Para os Sistemas de Informações Geográficas, o nível de informação, poderá permanecer no primeiro nível categórico (ordens), separando-se a presença ou ausência de atributos, horizontes, diagnósticos ou propriedades, características passíveis de serem identificadas no campo. Desta forma, mostrando as diferenças no tipo e grau de desenvolvimento de um conjunto de processos que atuaram na formação do solo (EMBRAPA, 2013).

A distribuição dos tipos de solo na área em estudo, apresentada na seção 4.2, foi obtida através do recorte de um arquivo tipo *shapefile*, disponibilizado na página do ITCG. Este estabelece uma nomenclatura particular para as classes de solo, contudo esta é compatível com a nomenclatura estabelecida pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS).

## 3.5 DETERMINAÇÃO DOS LIMITES GEOGRÁFICOS DA MICROBACIA

Os limites geográficos da microbacia do alto do rio Sarandi foram determinados através do processamento de dados *raster* no *software* ARCGIS *Desktop* da ESRI. Para o presente estudo foram utilizados dados SRTM com resolução espacial de 1 (um) arco de segundo (obtido por interpolação dos dados SRTM de três arcos de segundo), conforme NASA (2016), disponibilizados em seu sitio eletrônico.

Para o presente estudo foram utilizadas as folhas “s26\_w054\_1arc\_v3” e “s27\_w054\_1arc\_v3”, cada uma com aproximadamente 25,0 Mb de tamanho em disco, com resolução espacial (pixel) de 30 metros e 16 bit *signed integers*.

Os dados *raster* originalmente encontram-se disponíveis na projeção UTM WGS 1984, no fuso 22, com meridiano central -51, porém, orientados para a América do Norte (UTM WGS 84 22N).

Para a delimitação da bacia foram utilizados os seguintes procedimentos preliminares:

- a) Conversão do sistema de coordenadas de UTM WGS 84 22N para UTM WGS 84 22S, de ambas as folhas;
- b) Composição do mosaico das folhas “s26\_w054\_1arc\_v3” e “s27\_w054\_1arc\_v3”;
- c) Conversão dos dados de 16 bit *signed integers* para 16 bit *unsigned integers*;
- d) Criação de uma *geodatabase* (arquivos \*.gdb para o ArgGis), necessária para o gerenciamento dos arquivos de saída dos processos;
- e) Processamento do mosaico conforme instruções contidas no Tutorial do *Arc Hydro Tools*;
- f) Recorte da área de interesse.

A área de interesse deste estudo compreende a parte superior da bacia do Rio Sarandi, no sudoeste paranaense, por se tratar de uma área de manancial. Para o estabelecimento do ponto jusante da bacia, foi levada em consideração a posição a qual se encontra a barragem de captação do sistema da SANEPAR, Figura 9, para a cidade de Realeza.

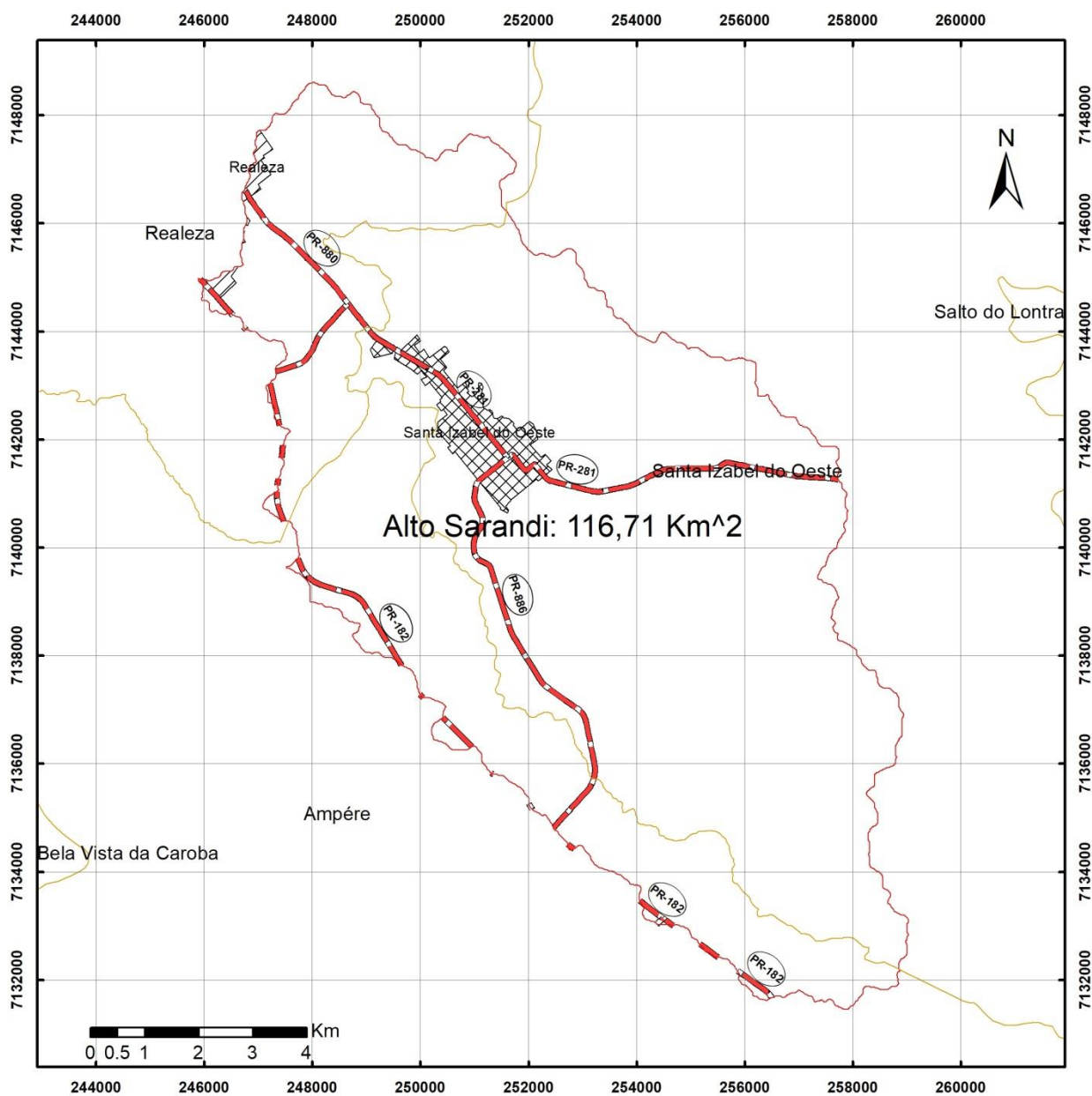
Figura 9 - Captação e Estação de Tratamento de Água de Realeza



Após a delimitação foi possível calcular a área da microbacia, sendo que esta é de 116,71 Km<sup>2</sup>. Com os limites hidrográficos da microbacia e utilizando-se de dados vetorizados das cartas topográficas e de imagens orbitais, foi possível a confecção do mapa da bacia, já dotado de pontos de interesse como rodovias e áreas urbanas, apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Mapa Microbacia do Alto do Rio Sarandi

## Mapa Microbacia do Alto do Rio Sarandi



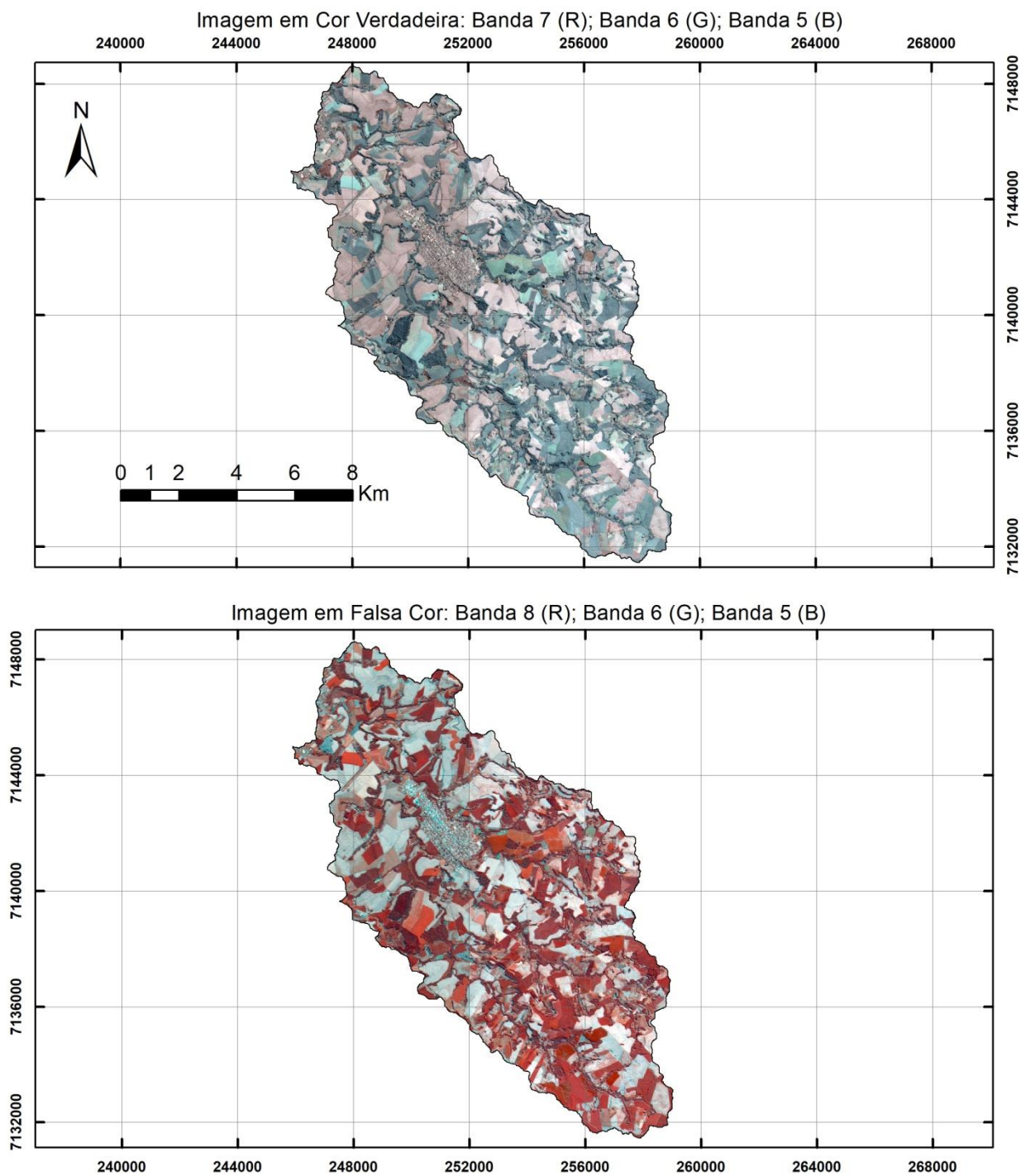
### 3.6 IMAGENS ORBITAIS

Inicialmente, foi elaborada uma composição em cor verdadeira com as bandas 7, de 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$  (R), 6 de 0,52 a 0,59  $\mu\text{m}$  (G) e 5 de 0,45-0,52  $\mu\text{m}$  (B), também foi elaborada uma composição falsa cor com a combinação das bandas 8 de 0,77 a 0,89  $\mu\text{m}$  (NIR), 6 de 0,52 a 0,59  $\mu\text{m}$  (G) e 5 de 0,45-0,52  $\mu\text{m}$  (B), obtidas a partir da imagem de satélite digital, do sensor MUX do satélite CBERS-4, no dia 27 de abril de 2017. Com resolução espacial de 20 metros, possibilitando a identificação dos padrões de uso da terra de maneira lógica. Posteriormente, as duas imagens geradas pelas composições de cor verdadeira e falsa cor foram fusionadas à Banda 1 (de 0,50 - 0,90  $\mu\text{m}$  Pancromático) do sensor PAN, da mesma data, com resolução espacial de 5 metros.

As imagens são disponibilizadas georreferenciadas e após as combinações para as composições das imagens em cor verdadeira e falsa cor, foram realizados os recortes para redução da dimensionalidade da imagem a fim de restringi-la apenas à área de estudo, Figura 11.



Figura 11 - Composições Utilizadas para a Classificação



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

 Microbasia Alto Rio Sarandi

### 3.7 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS

Para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo foram utilizados métodos de geoprocessamento e PDI, lançando-se mão da técnica de classificação supervisionada. Por essa técnica, as imagens coloridas (cor verdadeira e falsa cor) em formato \*.tif foram inseridas no *software* ArcGIS, onde foi realizado o treinamento, ou seja, a coleta de amostras.

A coleta de amostras de treinamento consiste em demarcar polígonos sobre as áreas representativas do uso e ocupação do solo e agrupadas em classes: área urbana, solo exposto, áreas de uso agropecuário, lagos e florestas. As amostras (polígonos) foram coletadas em grande número e de diversos locais, buscando-se abranger todas as variações de cada ocupação do solo e designando atributos numéricos para cada classe, utilizando-se sempre a imagem de satélite georreferenciada que envolve a microbacia como plano de fundo.

Com a finalização da coleta das amostras de treinamento, realizou-se então, uma classificação em tela, levando-se em consideração elementos utilizados em fotointerpretação como cor, tonalidade, forma, textura, grupamento, tamanho, sombreamento, entre outros. Por suas características de bandas, contendo a faixa do infravermelho, a imagem formada pela composição em falsa cor apresentou um melhor desempenho para a classificação supervisionada.

Considerando a composição em cor verdadeira, as áreas referentes aos corpos d'água possuíam uma tonalidade escura, negra. As áreas referentes aos solos expostos possuíam coloração vermelho/alaranjadas. Já as áreas referentes às matas uma tonalidade de verde escuro, sendo o reflorestamento demarcado pela coloração de verde mais claro e representado em forma de talhões em sua maioria. As áreas de uso agropecuário, em sua grande maioria formada por áreas de cultivo de lavouras de ciclo curto, e as pastagens, em quantidade reduzida. As lavouras apresentavam cores variando do palha ao verde claro, pois de acordo com a data de passagem da imagem de satélite, ou já estavam secas, final do ciclo onde já haviam sido colhidas ou em fase de colheita, ou em outros casos, já estavam em estado de crescimento. Por sua vez, as reduzidas áreas de pastagens foram demarcadas sobre áreas de coloração verde mais clara. Os lagos se apresentam com cores escuras próximas ao preto.

Esse procedimento deu origem ao mapa de uso do solo, o qual foi trabalhado no *software ArcGIS Desktop*. Através do comando *Convert to shp*, foi convertido o *raster* para o formato *shp*. Desta forma é possível calcular as estatísticas da área de interesse, em função da microbacia do alto do rio Sarandi já delimitada, e assim obter a tabela de atributos contendo a respectiva área total bem como o perímetro da microbacia e as áreas, e percentuais, para cada classe de uso e ocupação da terra.

### 3.8 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

As áreas de preservação permanentes foram definidas ao longo dos cursos d'água da microbacia, onde após importação da rede de drenagem em formato \*.shp (*shapefile*), foram utilizadas operações para a criação de *buffer*, utilizando-se as ferramentas disponíveis no *software SIG*, as quais proporcionaram a criação de um *buffer* de 50m de raio para cada uma das nascentes e um *buffer* de 30m de cada lado de cada curso d'água ao longo de seu leito, com isso, resultou-se no mapa de APP's, fundamentado no Novo Código Floresta Lei 12.651 (BRASIL, 2012). Tal legislação estabelece que as áreas de preservação permanente situadas em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de 30 metros, para o curso d'água com menos de 10 metros de largura, e que considera essas áreas, cobertas ou não por vegetação nativa: "com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas".

Baseando-se nessas determinações legais, foi realizado uma sobreposição, ou *overlay*, do mapa de uso e ocupação do solo com o mapa das APP's, para identificação das áreas conflitantes.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a compreensão da situação ambiental de uma determinada região, seja de um município, de um estado, ou de uma microbacia hidrográfica, caso deste estudo, a análise integrada dos elementos do quadro natural e dos aspectos antrópicos constitui-se como instrumento indispensável. Entretanto, a análise integrada dos sistemas ambientais apresenta uma grande complexidade, necessitando de uma metodologia robusta e consistente para a interpretação dos dados, transformando-os em informação. A presente pesquisa se propôs a analisar a microbacia bacia hidrográfica do alto do rio Sarandi e apresentar a situação ambiental em que ela se encontra.

Nesse sentido, e como subsídio básico para a compreensão da situação ambiental da bacia, parte-se da análise de aspectos que, apesar de não serem os únicos, constituem-se como importantes, para a determinação do grau de fragilidade ambiental, seja ela potencial ou emergente, a que a microbacia em questão está submetida. Deste modo, a análise da declividade, dos tipos de solos e da utilização que é feita dos solos na área da microbacia hidrográfica, são os principais parâmetros que indicam o comportamento da microbacia, considerando a atuação integrada destes fatores.

### 4.1 CLASSES DE DECLIVIDADE DO TERRENO

A declividade do terreno apresenta-se como fator importante devendo ser considerado no mapeamento da fragilidade ambiental, uma vez que os processos erosivos podem ser acelerados em função do grau de inclinação de uma vertente. Contudo, a declividade não representa o único fator que interfere nos processos erosivos. Essa se associa a fatores tais como o tipo de solo, comprimento de rampa, cobertura do solo, morfologia das vertentes, entre outros, que também exercem influência sobre os processos erosivos.

No entanto, a declividade exerce um papel significativo no desenvolvimento dos processos erosivos, principalmente em áreas de classes de declividade elevadas. Tal fato foi comprovado pela presença de formas vinculadas a processos erosivos lineares. Contudo, verifica-se que mesmo em áreas de classes reduzidas

de declive são detectados processos erosivos atuantes, auxiliados pelo uso e ocupação do solo (SILVEIRA; CUNHA, 2006).

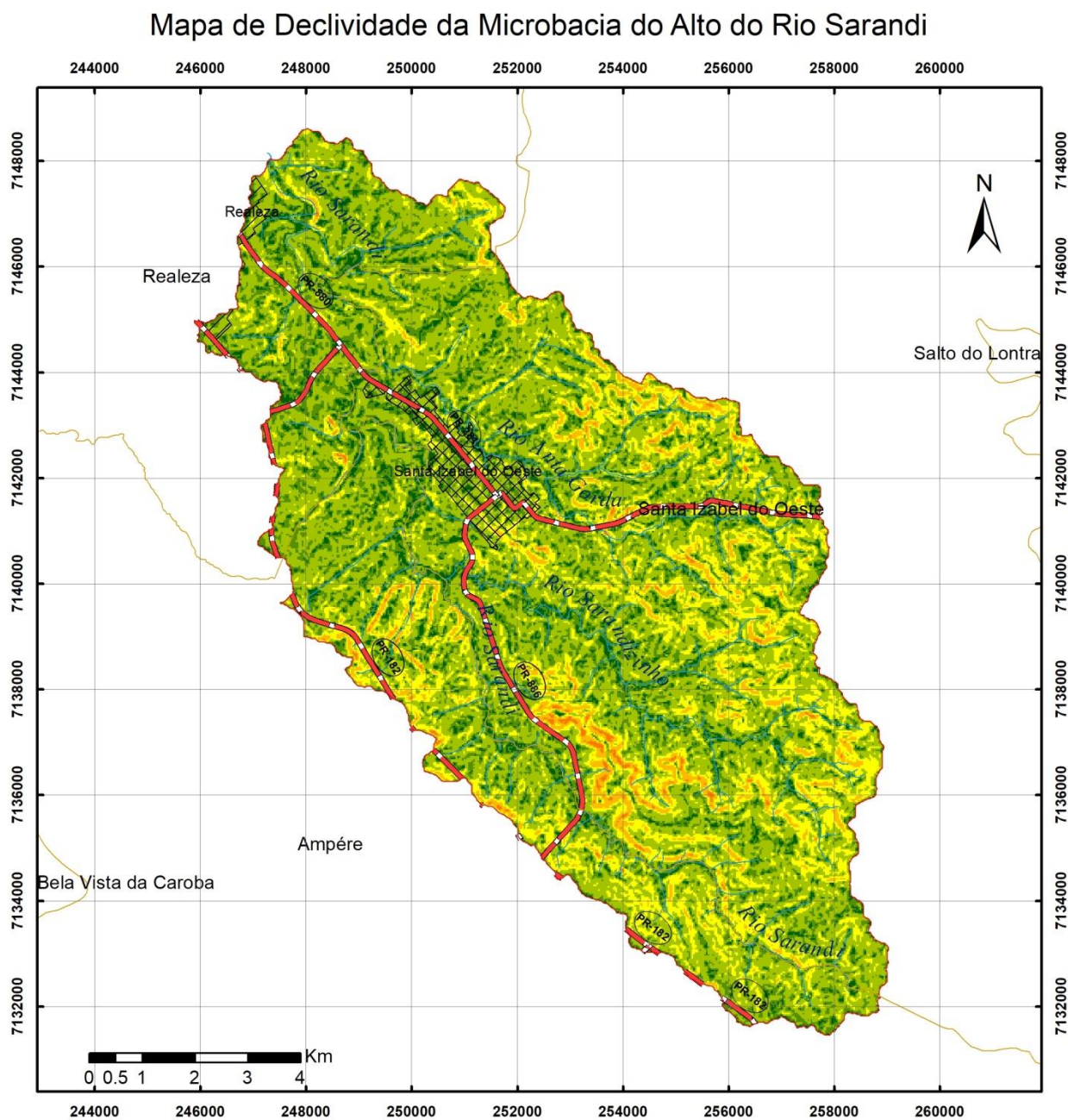
Na microbacia do alto do rio Sarandi, de acordo com a classificação de declividades proposta por Ross (1994), predominam as classes entre 0 a 20%, conforme apresenta a Figura 12.

O Mapa de Declividade da Microbacia do Alto do Rio Sarandi demonstra que as áreas com declividade de 0 a 3% e de 3 a 6% estão localizadas ao longo da rede de drenagem, formando planícies aluviais, e nas partes mais elevadas do relevo, ao longo dos divisores de água, correspondendo respectivamente a 8,34 Km<sup>2</sup> e 24,43 Km<sup>2</sup> ou 7,15% e 20,94% da área da microbacia. A associação destas duas classes de declividade confere ao relevo, sobretudo no médio curso, uma ondulação suave, não ocorrendo desta maneira a quebra abrupta do relevo.

Entre 6 a 12% de declividade existe uma área de 58,61 Km<sup>2</sup>, o que representa, na extensão total da bacia, 50,23%, sendo a faixa de declividade dominante no relevo.

Avaliando as declividades entre 12 a 20%, tem-se que a área correspondente é de 19,93 Km<sup>2</sup>, a qual representa 17,08% da área da bacia. Essa classe é representativa no alto curso da bacia, nas áreas das nascentes, por vezes atuando como ligação entre as declividades de 6 a 12% com as declividades superiores a 20%, evitando uma quebra abrupta da vertente. As áreas com declividades de 20 a 30% ocorrem em 4,88 Km<sup>2</sup>, representando desta maneira 4,18% da área da bacia e está distribuída em duas faixas principais, sendo uma entre as nascentes dos rios Sarandi e Sarandzinho e a outra nas margens direita das nascentes do rio Anta Gorda. Por sua vez, as áreas com declividades de 30 a 50% somam 0,49 Km<sup>2</sup>, equivalente a 0,42%, com ocorrência entre as nascentes dos rios Sarandi e Sarandzindo. Não há a ocorrência de declividades superiores a 50% na área de estudo, sendo encontradas declividades máximas inferiores a 45%.

Figura 12 - Mapa de Declividade da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

- Limites Municipais
- Microbacia Alto Rio Sarandi
- Hidrografia
- Malha Rodoviária
- Área Urbana Realeza
- Área Urbana Sta Izabel do Oeste

**Classes de Declividade**

- 1 - <3%
- 2 - 3 a 6%
- 3 - 6 a 12%
- 4 - 12 a 20%
- 5 - 20 a 30%
- 6 - 30 a 50%
- 7 - >50%

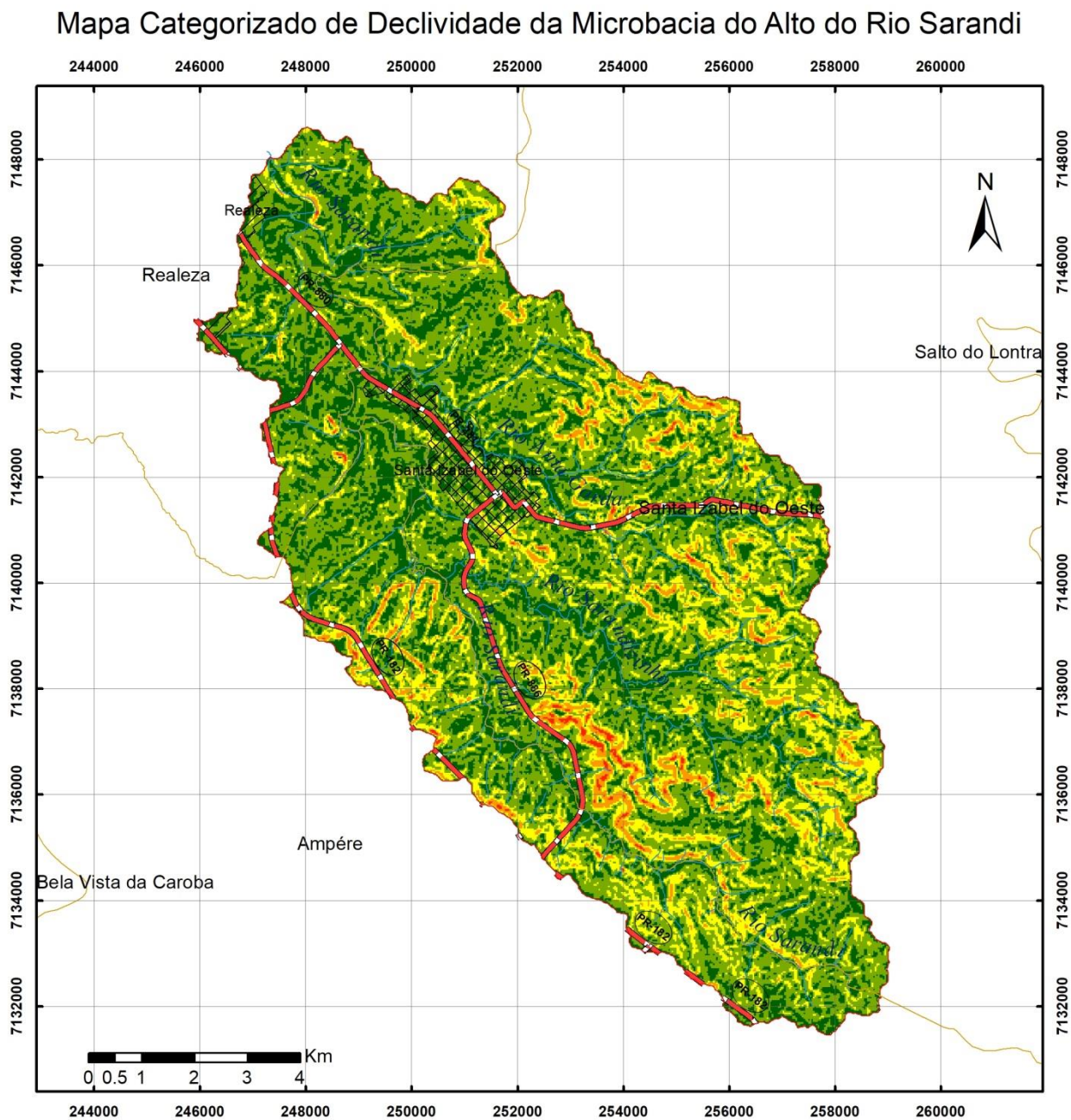
Considerando-se as faixas de declividade determinadas no presente estudo, definem-se os tipos de relevo relacionados às declividades do terreno, conforme o estabelecido pela Embrapa (EMBRAPA, 1979):

- a) Plano – superfície de topografia horizontal, com desníveis muito pequenos e os declives estão entre 0 e 3%;
- b) Suave ondulado – superfície de topografia pouco movimentada, formada por conjunto de colinas e/ou outeiros, elevações de altitudes relativas da ordem de 50 a 100 respectivamente, a declividade apresenta-se entre 3 a 8%;
- c) Ondulado – Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives compreendidos entre 8 a 20%;
- d) Forte ondulado – Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, elevações de altitudes da ordem de 100 e 200m, respectivamente, com declives entre 20 e 45%.

Portanto, considerando a classificação do relevo quanto a sua declividade, constata-se que na microbacia do alto do rio Sarandi predomina o relevo ondulado, seguido pelas classes suave, ondulado e plano, os quais compreendem declividades de 0 a 20%. Na área de estudo, estas classes de relevo totalizam 94,70% da área total.

Ross (1994) reclassifica as classes de declividades em cinco categorias que variam de “Muito Fraca”, com declividade de até 6%, a “Muito Forte”, com declividades acima de 30%, atribuindo-lhes pesos de 1 a 5 para quantificar o grau de fragilidade. A Figura 13 apresenta a reclassificação da declividade da microbacia.

Figura 13 - Mapa Categorizado de Declividade da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

- Limites Municipais
- Microbacia Alto Rio Sarandi
- Hidrografia
- Malha Rodoviária
- Área Urbana Realeza
- Área Urbana Sta Izabel do Oeste

**Categorias Hierárquicas**

- 1 - Muito Fraca até 6%
- 2 - Fraca de 6 a 12%
- 3 - Média de 12 a 20%
- 4 - Forte de 20 a 30%
- 5 - Muito Forte >30%



Com a reclassificação apresentada na Figura 13, pode-se inferir a ocorrência de cada categoria na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Categorias de Declividade e Grau de Fragilidade

Categoria	Classes de Declividade (%)	Grau de Fragilidade	Ocorrência (%)
Muito Fraca	<6	1	28,09
Fraca	6 – 12	2	50,23
Média	12 – 20	3	17,08
Forte	20 – 30	4	4,18
Muito Forte	>30	5	0,42

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Considerando a categorização do relevo quanto a sua fragilidade frente à declividade, constata-se que na microbacia do alto do rio Sarandi predomina a categoria “Fraca”, seguida pela “Muito Fraca” e “Média”, as quais compreendem declividades de 0 a 20%. Na área de estudo estas categorias de declividade totalizam 95,40% da área total.

#### 4.2 CLASSES DE SOLOS

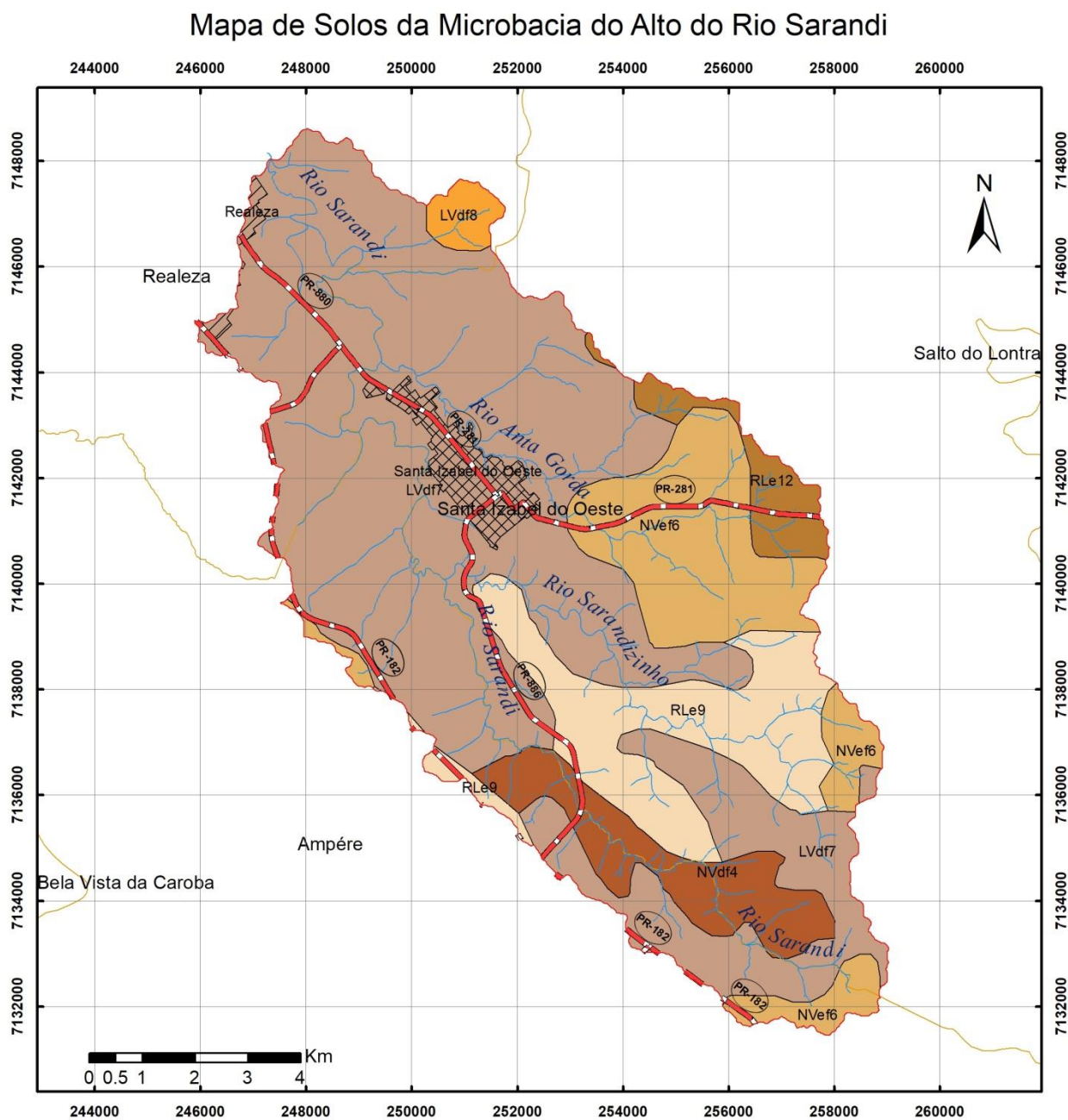
Entre os solos que ocorrem na microbacia do alto do rio Sarandi, conforme a Tabela 7, destaca-se o Latossolo Vermelho Distroférico típico, código LVdf7 (difere do Latossolo Vermelho Distroférico típico, código LVdf8, pela ocorrência em diferentes tipos de relevo), que está presente em 73,55 Km<sup>2</sup> da microbacia, e corresponde a 63,02% do total da mesma, conforme a Figura 14 e a Tabela 8.

Tabela 7 - Nomenclatura das Classes de solo, ITGC

Código	Nomenclatura
LVdf7	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico
LVdf8	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico
NVdf4	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico + LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico
NVef6	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico chernossólico
RLe12	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico + CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico saprolítico + NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico
RLe9	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico + NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico + CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico saprolítico

Fonte: Adaptado de ITGC (2008).

Figura 14 - Mapa de Solos da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

- Microbacia Alto Rio Sarandi
- Hidrografia
- Limites Municipais
- Malha Rodoviária
- Área Urbana Realeza
- Área Urbana Sta Izabel do Oeste

**Tipos de Solo - ITGC (2008)**

- LVdf7
- LVdf8
- NVdf4
- NVe6
- RLe9
- RLe12

Os Códigos e a nomenclatura adotados no Mapa de Solos da Figura 14 são os mesmos adotados pelo ITGC para a Carta de Solos do Estado do Paraná, sendo que esta é disponibilizada em formato digital na página do ITGC na *internet*: < <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9>>.

Pela Figura 14 observa-se que o Latossolo LVdf7 se estende de forma predominante no baixo curso da microbacia com ocorrência na região das nascentes dos rios Sarandi e Sarandizinho. Na região das nascentes do rio Anta Gorda há a maior ocorrência de Nitossolo Vermelho Distroférico típico associado ao Latossolo Vermelho Distroférico típico, código NVef6, que também ocorre nas partes mais elevadas do relevo das nascentes dos rios Sarandi e Sarandizinho. O Nitossolo NVef6 apresenta uma total área de 16,25 km<sup>2</sup>, correspondente a 13,93% da área total da microbacia.

Tabela 8 - Classes de Solos e Grau de Fragilidade e ocorrência

Classes	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe de Fragilidade Final <sup>7</sup>	Área (km <sup>2</sup> )	Ocorrência (%)
LVdf7	1			1	73,55	63,02
LVdf8	1			1	1,43	1,22
NVdf4	4	1		2,8	7,61	6,52
NVef6	3			3	16,25	13,93
RLe12	4	3	3	3,9	3,39	2,90
RLe9	4	3	3	3,9	14,48	12,41
Total					116,71	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A associação de Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico, mais Nitossolo Vermelho Eutrófico típico, mais Chernossolo Háplico Órtico saprolítico, código RLe9, estende-se desde a nascente do rio Sarandizinho até a ponte deste na PR 886, cobrindo uma área de 14,48 Km<sup>2</sup>, 12,41% do total.

No vale formado na nascente do rio Sarandi e estendendo-se por cerca de 6 Km, encontra-se Nitossolo Vermelho Distroférico típico associado ao Latossolo Vermelho Distroférico típico, código NVdf4, em uma área de 7,61 Km<sup>2</sup>, equivalente a 6,52% da área total.

A associação de solos Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico, mais Chernossolo Argilúvico Férrico saprolítico, mais Nitossolo Vermelho Distroférico

<sup>7</sup> Para cálculo da média ponderada dos casos que possuem duas associações de solos, foi adotado o seguinte critério: 60% classe de fragilidade + 40% classe de fragilidade = classe de fragilidade final; para casos com três associações: 50% classe de fragilidade + 30% classe de fragilidade + 20% classe de fragilidade = classe de fragilidade final (FRANCO et al., 2012).

típico, código RLe12, apresenta-se nas áreas altas das nascentes do rio Anta Gorda, cortadas pela rodovia PR 281, com área de 3,39 Km<sup>2</sup>, equivalente a 2,90%. Na sequência, na parte baixa do curso do rio Sarandi, na área de nascente de um dos afluentes da margem direita, já no município de Realeza, localiza-se uma região com ocorrência do solo Latossolo Vermelho Distroférico típico, código LVdf8, com apenas 1,43 Km<sup>2</sup> de área, o que corresponde a 1,22% da área total da microbacia em questão.

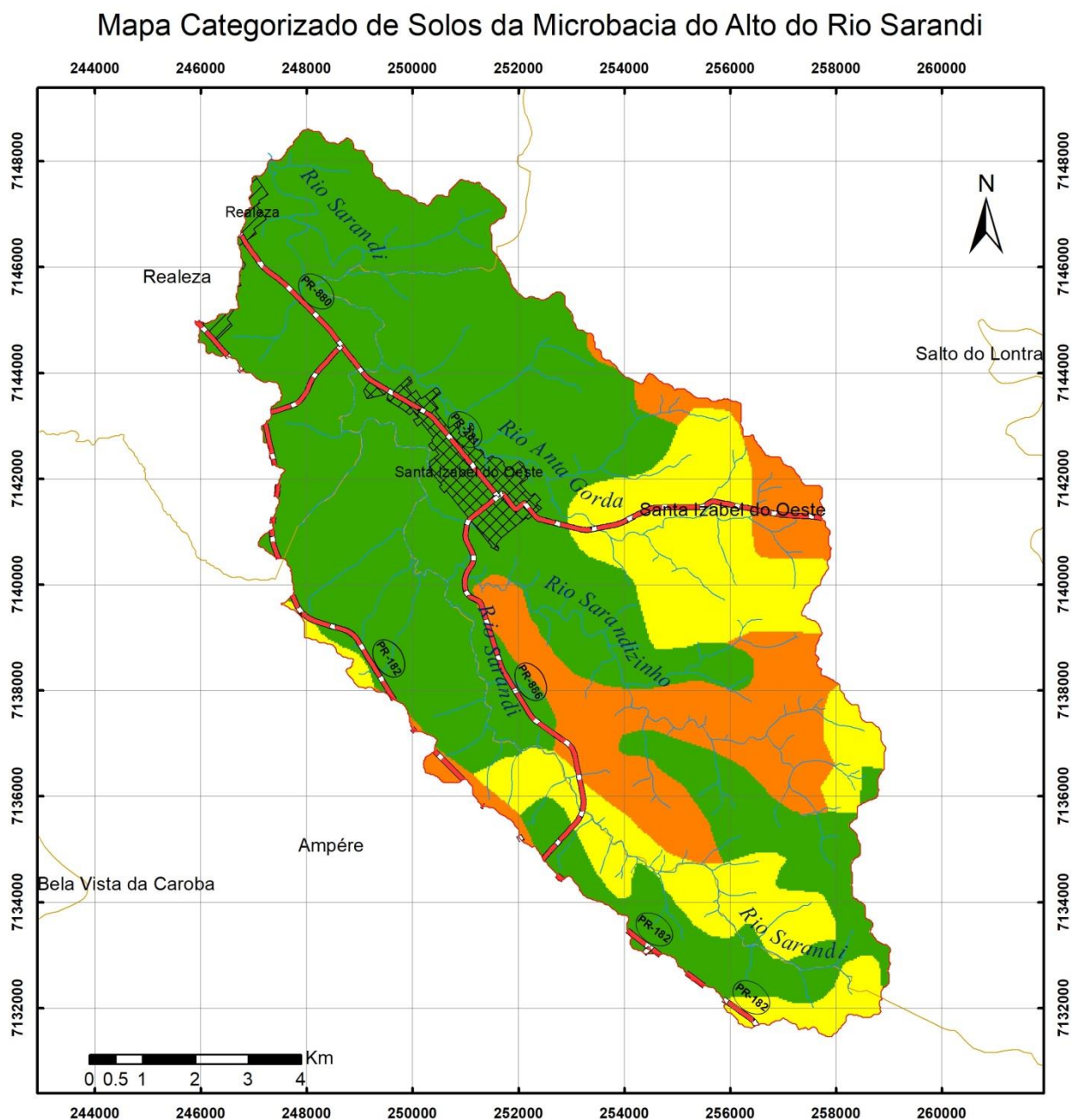
Através da caracterização do solo, pode-se determinar a sua resistência aos processos erosivos, pois este parâmetro está diretamente relacionado às suas características, tais como textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, consistência e profundidade. Elas definem a maior ou menor susceptibilidade do solo aos processos erosivos, o que justifica a importância desta variável para estabelecer a fragilidade do ambiente.

A fim de se avaliar a suscetibilidade do solo aos processos erosivos, buscou-se uma metodologia objetiva, assim como a estabelecida para a declividade (seção 4.1). Conforme a metodologia empregada, nas áreas onde ocorrem solos estáveis, classificados como suscetibilidade à erosão “Muito Baixa”, foi atribuído o valor de fragilidade 1 (Tabela 8). Esta classe é representada pelos Latossolos, ou seja, solos bem desenvolvidos, profundos, com boas propriedades físicas (permeáveis, porosos, friáveis e de baixa plasticidade) (EMBRAPA, 2013). Por sua vez, ao Nitossolo Vermelho foi atribuído um valor de 3 para a fragilidade.

Já em áreas onde ocorrem classes de solos associados, foram atribuídos valores ponderados de fragilidade, conforme metodologia aplicada por Franco et al. (2012). Nos casos que possuem duas associações de solos, foi adotado um peso equivalente a 60% do grau de fragilidade da primeira categoria de solo e de 40% para grau de fragilidade da segunda categoria, sendo que grau de fragilidade final é a soma dos valores de fragilidade pelo peso; para casos com três associações, de forma similar, 50% do grau de fragilidade para a primeira classe de solo, 30% do grau de fragilidade para a segunda e 20% do grau de fragilidade para a terceira classe de solo.

A Figura 15 ilustra a categorização da microbacia em função da fragilidade do solo. Nota-se a predominância da classe de fragilidade “Muito Baixa”.

Figura 15 - Mapa Categorizado de Solos da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

**Legenda:**

-  Microbacia Alto Rio Sarandi
-  Hidrografia
-  Limites Municipais
-  Malha Rodoviária
-  Área Urbana Realeza
-  Área Urbana Sta Izabel do Oeste

**Categorias Hierárquicas**

-  1 - Muito Baixa
-  2 - Baixa
-  3 - Média
-  4 - Forte
-  5 - Muito Forte

Assim como as demais associações, ao Nitossolo com associado ao Latossolo atribuiu-se valor 2,8. Já aos Neossolos com associação Chenossolo e Nitossolo ou Nitossolo e Chenossolo, foram atribuídos o valor de fragilidade de 3,9.

A classe de fragilidade de solo “Muito Baixa” distribuiu-se de forma irregular na área em questão, predominantemente no baixo curso da microbacia hidrográfica. Entretanto, também há ocorrência nas partes mais altas do relevo local, sendo que sua abrangência corresponde a 64,24% da área total da microbacia. Em comparação entre a Figura 13 e a Figura 15, pode-se verificar que esta classe coincide com as áreas de menor declividade.

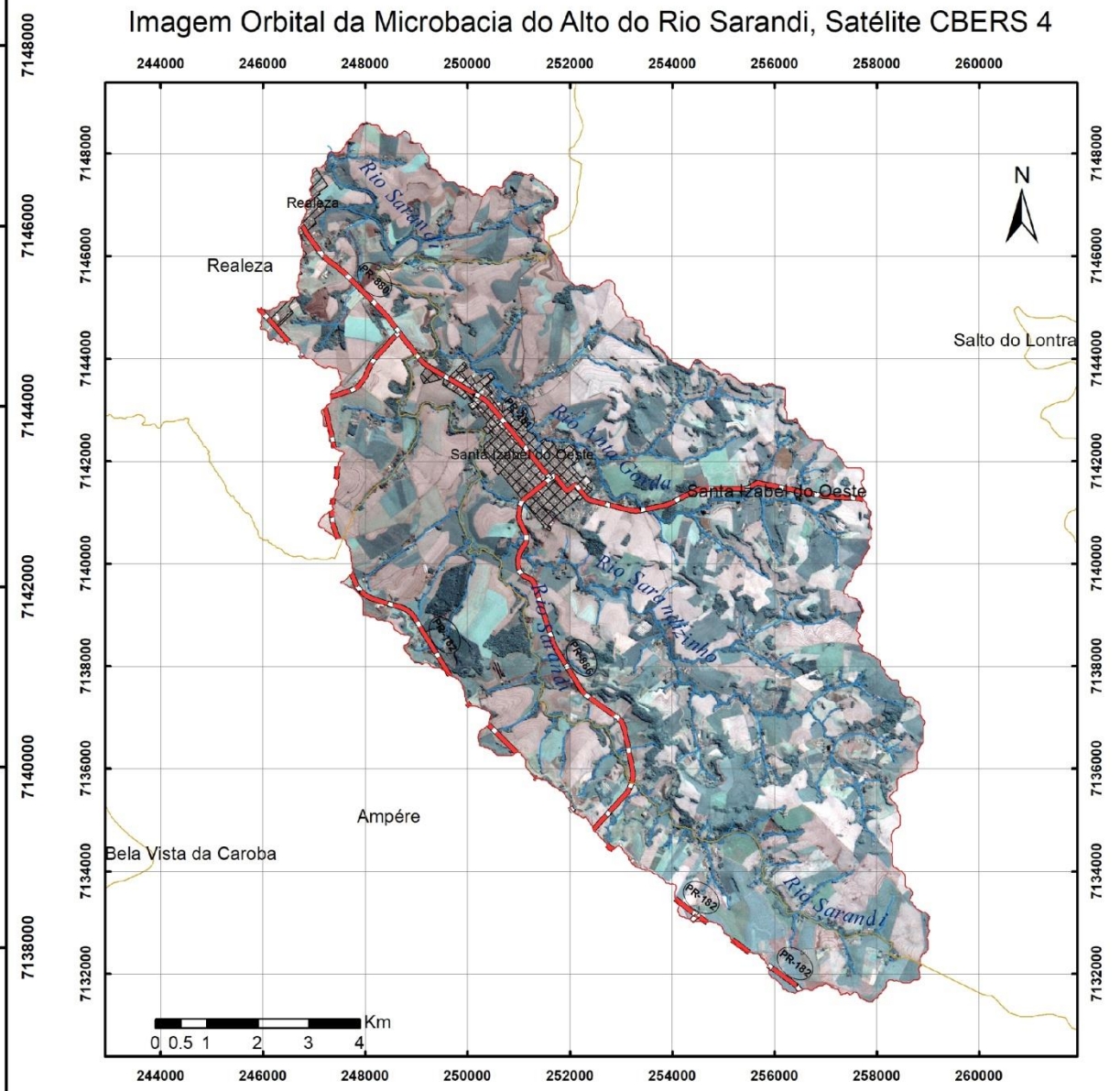
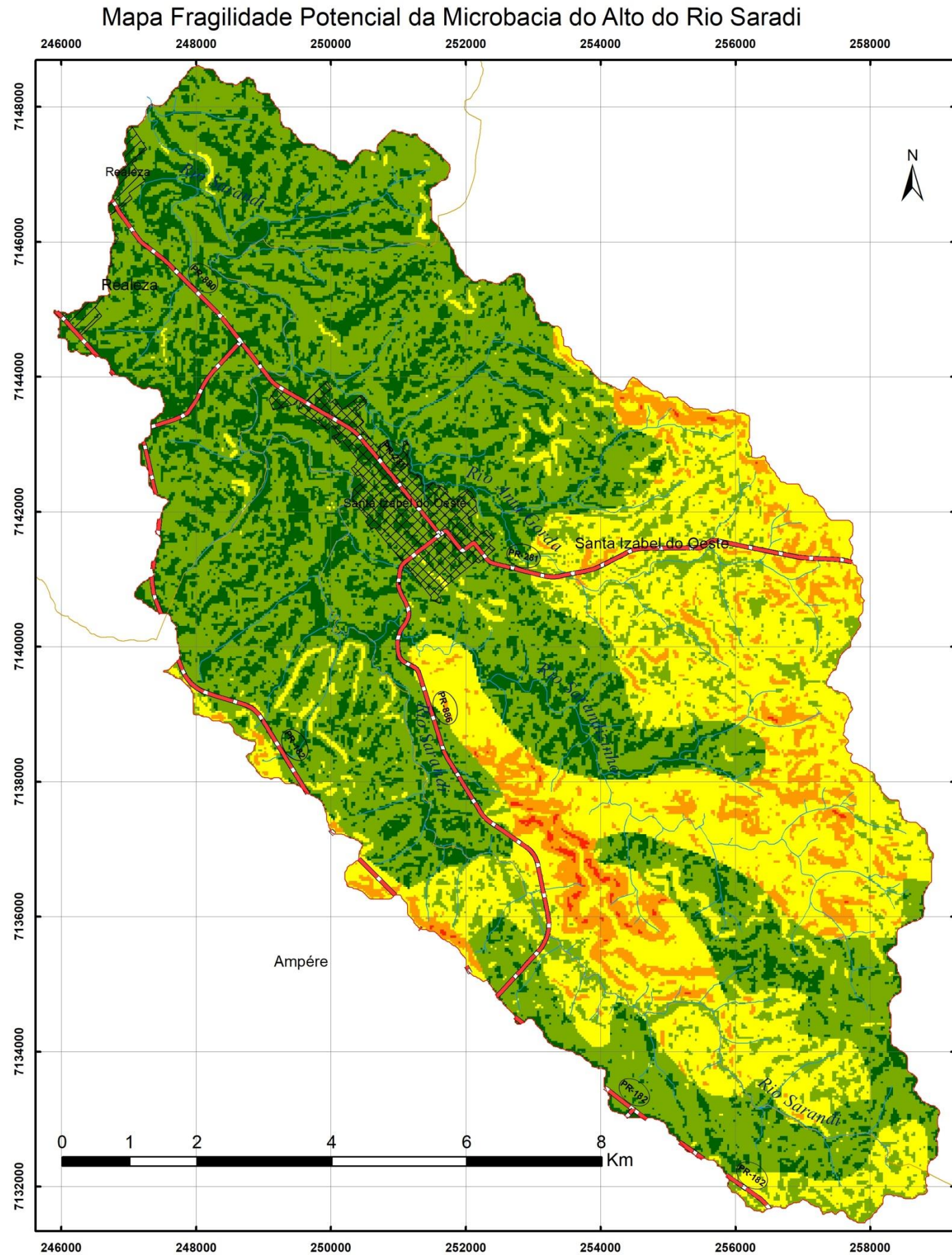
Áreas classificadas com fragilidade “Média” e “Forte” abrangem 20,46% e 15,30%, respectivamente, da área da microbacia. Estão localizadas exclusivamente na parte alta do curso hidrográfico, sendo que a classe “Média” se estende principalmente ao longo dos vales dos rios Sarandi e Anta Gorda, com ocorrências menores nas cabeceiras do Sarandi e Sarandzinho. A classe “Forte” predominantemente localiza-se ao longo do rio Sarandzinho, com ocorrências nas cabeceiras do Anta Gorda e, uma menor, na margem esquerda do rio Sarandi.

Não foram encontrados registros de solos com classes de fragilidade “Baixa” e “Muito Forte” na microbacia do alto do rio Sarandi.

#### 4.3 FRAGILIDADE POTENCIAL

A relação entre as classes de declividades com as classes de solos, distribuídas espacialmente em um determinado espaço geográfico, o que no caso desta pesquisa foi a microbacia do alto do rio Sarandi, é denominada de fragilidade potencial, sendo caracterizada pela fragilidade natural, que é identificada com base nas informações de declividade e solos. A Figura 16 ilustra a fragilidade potencial da microbacia.

Figura 16 - Mapa Fragilidade Potencial da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

- Legenda:**
- Microbacia Alto Rio Sarandi
  - Hidrografia
  - Limites Municipais
  - Malha Rodoviária
  - Área Urbana Realeza
  - Área Urbana Sta Izabel do Oeste

- Fragilidade Potencial**
- 1 - Muito Fraca
  - 2 - Fraca
  - 3 - Média
  - 4 - Forte
  - 5 - Muito Forte

Autor: Helder Calsavara Ferreira

Ano: 2017

A Tabela 9 ilustra a ocorrência dos tipos de solo em função da declividade da área de estudo em questão.

Tabela 9 - Ocorrência de Cada Tipo de Solo em Função da Declividade (valores em %)

Declividade	Tipos de Solo					
	LVdf7	LVdf8	NVdf4	NVef6	RLe12	RLe9
Até 6%	32,03	17,47	26,28	22,61	20,51	21,95
De 6 a 12%	51,60	58,40	48,85	46,41	43,06	45,17
De 12 a 20%	13,46	21,86	20,11	24,83	28,95	22,00
De 20 a 30%	2,72	2,27	4,41	5,78	7,09	9,23
Acima de 30%	0,20	0,00	0,35	0,37	0,39	1,66
Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Pode-se inferir a predominância de Latossolos na região, distribuídos predominantemente em relevos mais brandos, com declividades de até 20%. Por sua vez, os Nitossolos apresentam-se em uma faixa maior de declividade, com grande presença em declividades de 6 a 12%.

Como observado na Figura 16, a classe de fragilidade potencial, com maior representatividade, foi denominada de “Fraca”, ocorrendo em 54,85 km<sup>2</sup>, representando 47,02% da área de estudo. A fragilidade potencial “Fraca” ocorre principalmente no baixo curso da microbacia e nas áreas com maiores altitudes nas nascentes dos rios Sarandi e Saradizinho, com predominância nas declividades de 6 a 20%. Nessas classes de declividades desenvolvem-se, geralmente, os Latossolos Vermelhos.

A classe de fragilidade potencial “Média” corresponde a 30,98 Km<sup>2</sup>, equivalente a 26,55% da área, e está situada no alto curso hidrográfico da microbacia, assentada, principalmente, em declividades de 6 a 20%. Nestas classes de declividade predominam os Latossolos Vermelhos, contudo, nas áreas de classe de fragilidade “Média”, a ocorrência de Nitossolos é predominante e, em menor escala, há a presença de Neossolos.

Representando 20,19% da área da microbacia, com 23,54 Km<sup>2</sup>, a classe de fragilidade “Muito Fraca” segue a mesma distribuição da classe “Fraca”, nas mesmas formações de solos, porém, ocorre apenas em declividades menores que 6%, tanto nos fundos de vales, quanto nos topos de morros.



As classes de fragilidade “Forte” e “Muito Forte” cobrem 7,05 Km<sup>2</sup> e 0,24 Km<sup>2</sup> de área, 6,04% e 0,20% do total, respectivamente, estando diretamente ligada à ocorrência de Nitossolos e Neossolos e declividades acima de 20%.

Utilizando a mesma metodologia proposta por Ross (1994), outros autores observaram, ao analisar os fatores solo e declividade, resultados parecidos aos quais encontramos neste estudo. Estudos sobre fragilidade ambiental da bacia do rio Xaxim, em Morretes – PR, realizados por Ghezzi (2003), assim como Vashchenko, Favaretto e Biondi (2007), em estudos na Serra do Mar no município de Campina Grande do Sul – PR, classificaram a fragilidade potencial nos locais de maior declividade, acima de 30%, com presença de Neossolos como “Muito Forte”, evidenciando a fragilidade deste tipo de solo.

Em contrapartida, em áreas com declividades predominantes abaixo de 30%, ou seja, relevos mais suaves, e com solos menos suscetíveis ao processo erosivo, pode-se notar o predomínio das classes de fragilidade potencial “Fraca”. Donha, Souza e Sugamoto (2006) verificaram que 81% da área do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, em Pinhais – PR, apresentam fragilidade potencial “Fraca” a “Muito Fraca”, havendo ali predomínio de declividades inferiores a 20% e presença de Latossolos, semelhante ao estudo desenvolvido por Fushita et al. (2011) em investigações sobre a Região Geoeconômica do Médio Mogi Guaçu Superior. Souza et al. (2005) observaram que 53% da área da bacia do rio Iraí, igualmente uma área de manancial, encontram-se com fragilidade potencial “Fraca” a “Muito Fraca”, sendo que aproximadamente 92% da área apresentam declividade inferior a 20%.

#### 4.4 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

A área do alto curso do rio Sarandi está organizada, em geral, em pequenas propriedades para cultivo de milho, soja, feijão e trigo, além de outros produtos em menor escala, tais como plantios florestais, hortaliças e frutas. Com relação à criação de animais, destaca-se a criação de suínos e de frangos, geralmente em sistemas confinados (PAZ, 2010).

A região do estudo deste trabalho possui 116,71 Km<sup>2</sup> de área, sendo que a sua principal atividade econômica é a agropecuária. Nesta microbacia foram consideradas cinco classes de utilização do solo, relacionadas como: Agropecuário,

Florestas, Lagos, Solo Exposto e Área Urbana. A Tabela 10 traduz em números a Figura 17, a qual ilustra os usos da terra.

Tabela 10 - Usos atuais do solo na microbacia do alto do rio Sarandi, grau de proteção e suas respectivas áreas e ocorrências, obtida a partir de imagens do satélite CBERS 4

Usos do Solo	Grau de Proteção	Área (Km <sup>2</sup> )	Ocorrência (%)
Florestas	Muito Alta	22,51	19,29
Agropecuária	Baixa	80,33	68,83
Áreas Urbanas	Muito Baixa	3,56	3,05
Solo Exposto	Muito Baixa	10,15	8,70
Lagos	Muito Baixa	0,15	0,13
Total		116,71	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

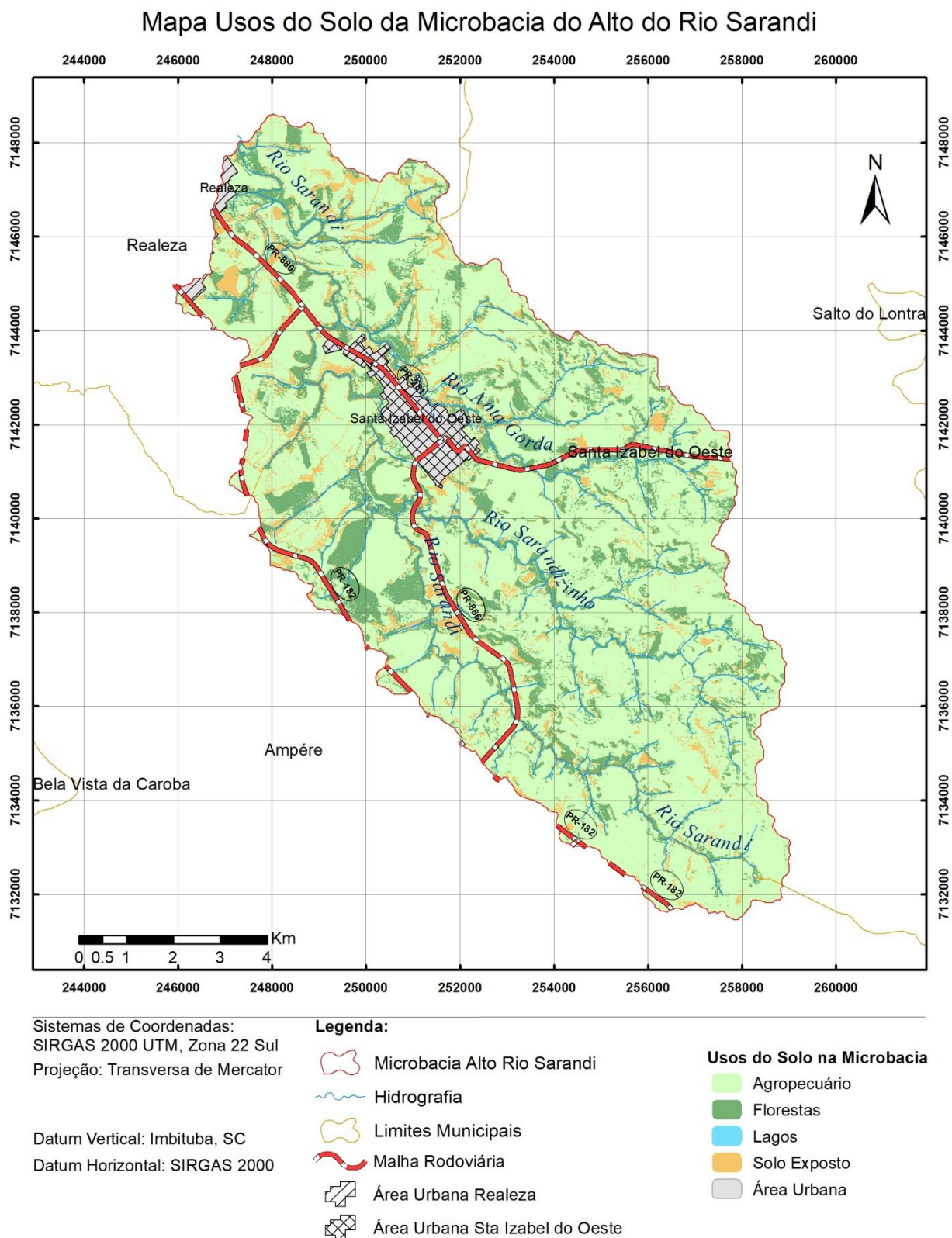
Dada a importância econômica da agropecuária na região, esperava-se uma alta ocupação da terra por esta, a qual ocupa uma área equivalente a 68,83% da área total da microbacia, num total de 80,33 Km<sup>2</sup> ou 8.033,00 hectares, distribuídas por todas as regiões da microbacia.

Conforme o estabelecido por Ross (1994), há uma hierarquia, em função do grau de proteção, entre os tipos de uso e ocupação do solo, que variam de “Muito Alta”, florestas naturais e/ou cultivadas, a “Muito Baixa” ou “Nula” para solos expostos e culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas. Desta maneira, as atividades agropecuárias desenvolvidas na área estão enquadradas como “Baixa”, devido às práticas conservacionistas desenvolvidas na área, tais como o terraceamento ou cultivo em curvas de nível, como pode ser observado na Figura 11 e descrito por Paz (2010).

As florestas ocuparam uma área de 22,51 Km<sup>2</sup>, 19,29% do total, sendo formadas por áreas de vegetação nativa, reflorestamentos e plantios florestais. Ainda podem ser divididas entre as áreas que compõem e as que não compõem as APP's, sendo que 25,01% das florestas estão situadas dentro destas áreas. Em função de suas características físicas e ambientais, esta classe de ocupação oferece uma alta proteção contra agentes erosivos.

Conforme indica a Tabela 10, a classe “Solo Exposto” aparece em 8,70% da área da bacia, perfazendo um total de 10,15 Km<sup>2</sup>. Cabe informar sobre esta classe algumas questões. A imagem de satélite que serviu de base para o levantamento da forma de utilização do solo (Figura 17) foi obtida durante o mês de abril de 2017.

Figura 17 - Mapa Usos atuais do solo na microbacia do alto do rio Sarandi, obtido a partir de imagens do satélite CBERS 4



Neste período, em função da proximidade do inverno, quando as temperaturas são mais baixas, com ocorrências de geadas, o cultivo de gêneros agrícolas é restrito, pois muitos destes não têm a capacidade de suportar as baixas temperaturas e a presença das geadas. Fatores culturais e econômicos contribuem para que o solo permaneça exposto neste período. Alguns proprietários não realizam plantios de culturas que contribuam para a proteção do solo, pois consideram não ser necessário ou que essas são culturas antieconômicas, outros não conseguem financiamento agrícola, e como a bacia caracteriza-se por pequenos produtores, os mesmos não dispõem de recursos próprios para investirem nas culturas de inverno, como o trigo e a aveia.

Por estes motivos, no inverno, os solos permanecem expostos, ou, em alguns casos, apenas com a resteva, ou seja, parte das raízes e caule do plantio anterior, pois este é realizado pelo sistema de plantio direto. Entretanto, a quase totalidade dessas áreas classificadas como “Solo Exposto”, em outras épocas do ano, com temperaturas mais elevadas, são utilizadas para o plantio de gêneros agrícolas temporários e, portanto, poderiam ser classificadas como áreas de agropecuária.

A distribuição das áreas com ocorrência de solo exposto pode indicar a localização de estradas e caminhos rurais, áreas que foram recentemente desmatadas, geralmente situadas adjacentes às áreas de florestas, ou ainda indicar regiões onde áreas agrícolas estejam sendo preparadas para plantio ou a execução de curvas de nível.

Considerando que o objetivo da presente pesquisa foi demonstrar a fragilidade potencial e emergente da microbacia hidrográfica, a partir da forma de uso, para esta época do ano, outono e inverno, a forma de uso da terra ocorre desta maneira. Portanto, a classe “Solo Exposto” será considerada tal como a mesma foi representada na área da bacia, independente da sazonalidade das culturas agrícolas e as atividades que as antevêm. Assim, tendo-se em vista a pouca ou nenhuma proteção aos agentes responsáveis pela erosão, foi atribuída à mesma um grau de proteção “Muito Baixa” (ROSS, 1994).

A classe de uso do solo definida como “Área Urbana” representa 3,05% da área total da microbacia, sendo que este percentual perfaz uma área de 3,56 Km<sup>2</sup>, conforme indicada na Tabela 10, correspondendo, em sua maior parte, ao perímetro

urbano do município de Santa Izabel do Oeste. Essa classe de uso do solo caracteriza-se por ser predominante no baixo curso do rio Anta Gorda.

Este tipo de ocupação, em uma microescala, também pode atuar como inibidora do processo de erosão, por possuir áreas de solo impermeabilizado. Entretanto, esta impermeabilização expõe o local aos problemas relativos ao escoamento superficial. Como os terrenos urbanos apresentam áreas impermeabilizadas ou com ausência de vegetação, quando ocorre a precipitação, as águas da chuva adquirem uma velocidade maior de escoamento, pois não existem locais capazes de proporcionar a infiltração destas águas. Neste sentido, como as áreas urbanas são interligadas por vias e ruas, pode-se projetar que o grau de proteção do solo nestes locais seja “Muito Baixa” (PACHECHENIK et al., 2013).

Observando a Figura 17 acima, foi possível ainda a identificação de lagos, localizados nas proximidades de rios e córregos ao longo de toda a microbacia hidrográfica. Estas formas de ocupação foram classificadas como “Lagos” e compreendem 0,15 Km<sup>2</sup>, significando 0,13% da área total. Para este estudo, estas áreas foram classificadas como de “Muito Baixa” proteção por serem estruturas sujeitas a transbordamentos em períodos de chuvas intensas, o que pode levar ao colapso do barramento, ocasionando erosões e o assoreamento de cursos d’água à jusante da estrutura.

#### 4.5 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA EM APP’S

As áreas de preservação permanentes, conforme a seção 2.2, são áreas que devem ser obrigatoriamente preservadas, em função de suas características geomorfológicas e/ou hidrográficas.

Na área do estudo, não foram identificadas declividades superiores a 45% e veredas ou áreas brejosas. Desta forma, as APP’s locais se caracterizam por serem apenas formadas pelas áreas de proteção de nascentes e florestas ciliares. A Tabela 11 apresenta o quadro de áreas de uso e ocupação do solo em função da declividade.

Tabela 11 - Uso e ocupação da terra em função da declividade. Áreas em Km<sup>2</sup>

Declividade	Agropecuária	Florestas	Lagos	Solo Exposto	Área Urbana	Área Total
Até 6%	21,75	7,31	0,08	2,93	1,37	33,33
De 6 a 12%	42,23	8,58	0,05	4,91	1,89	58,06
De 12 a 20%	13,55	4,40	0,01	1,74	0,28	19,95
De 20 a 30%	2,54	1,83	0,01	0,53	0,02	4,88
Acima de 30%	0,26	0,21	0,00	0,04	0,00	0,49
Total	80,33	22,51	0,15	10,15	3,57	116,71

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Como se pode observar na citada tabela, a área de estudo apresenta uma área florestal de 22,51 Km<sup>2</sup>, composta por florestas ciliares, reservas legais referentes a cada propriedade rural, áreas de exploração de silvicultura e áreas de reserva particular do patrimônio natural.

Contudo, ao se confrontar a delimitação da área legal prevista para as áreas que deveriam compor as APP's das florestas ciliares, conforme dados da Tabela 12, pode-se afirmar que os limites mínimos legais não estão sendo respeitados.

Tabela 12 - Usos atuais do solo na APP da microbacia do alto do rio Sarandi, Grau de Proteção e suas respectivas áreas e ocorrências, obtidas a partir de imagens do satélite CBERS

Usos do Solo	Área (Km <sup>2</sup> )	Ocorrência (%)
Florestas	5,63	58,04
Agropecuária	3,36	34,63
Áreas Urbanas	0,02	0,26
Solo Exposto	0,66	6,80
Lagos	0,02	0,27
Total	9,70	100,00

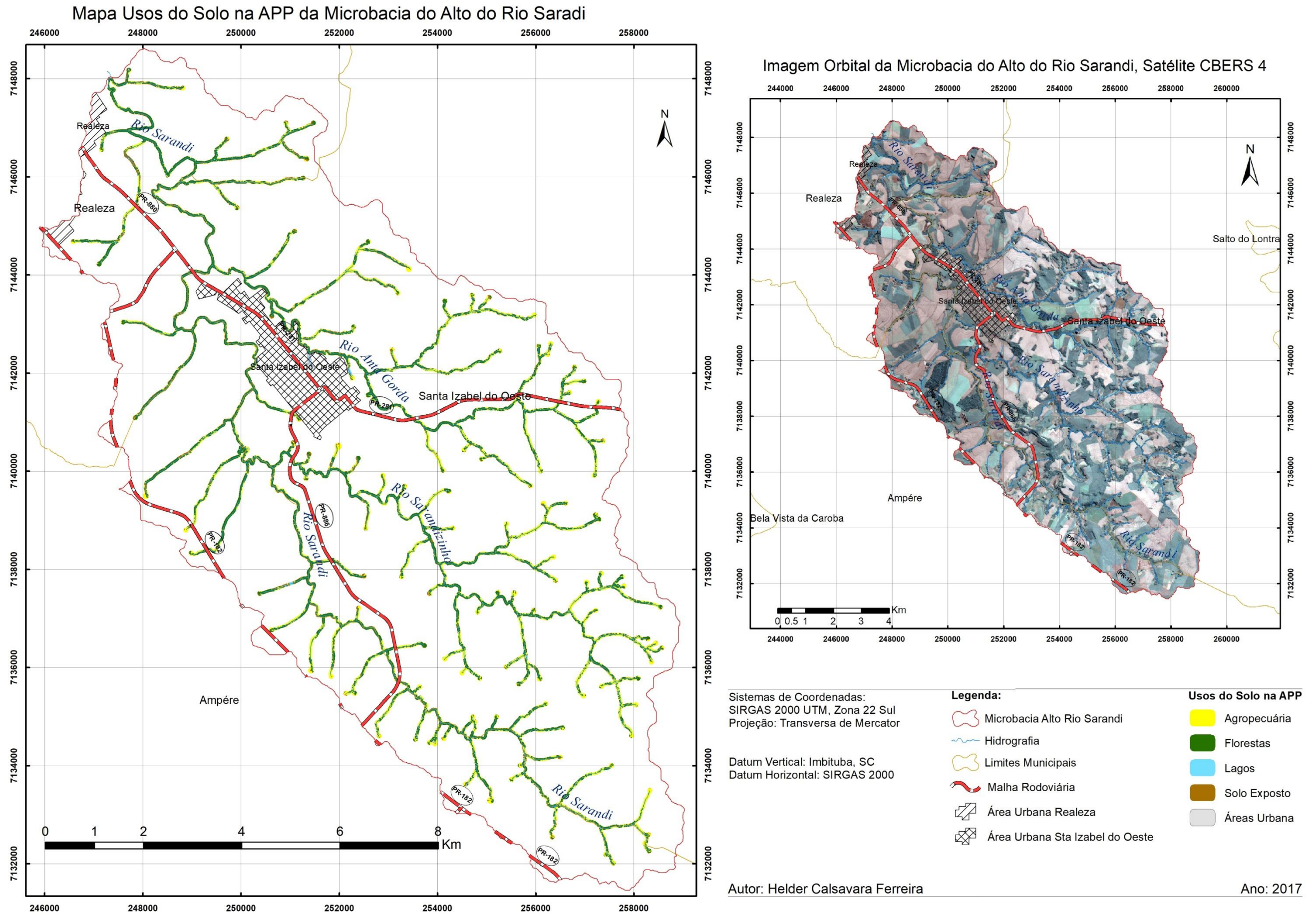
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Há um grande conflito de uso da terra nessas áreas, principalmente em função da sua exploração como área agrícola.

A mesma tabela esboça que 41,96%, de uma área de 9,70 km<sup>2</sup> da área da APP, apresentam usos inadequados, sendo que a exploração agropecuária é a maior causadora deste conflito, representando 34,63% da área total da APP.

A ocupação inadequada destas áreas pode ser observada na Figura 18. Nota-se que a ocorrência de conflitos se dá nos afluentes menores dos rios que compõe a microbacia e mesmo em áreas de nascentes. Este é um problema antigo da região. Segundo Paz (2010), diversas nascentes foram drenadas e há ocorrências de trechos de cursos d'água canalizados, com a finalidade de dar continuidade e/ou ampliação das áreas de cultivo.

Figura 18 - Mapa Usos atuais do solo na APP da microbacia do alto do rio Sarandi, obtidas a partir de imagens do satélite CBERS 4 - Parte 1



#### 4.6 FRAGILIDADE EMERGENTE DA MICROBACIA DO ALTO DO RIO SARANDI

A fragilidade emergente, além de considerar os elementos naturais já constantes na fragilidade potencial, tipo de solo e declividade, acrescenta o elemento humano, pois é caracterizada pela forma como o ser humano utiliza e ocupa o solo. No que diz respeito à microbacia do rio Sarandi, o solo possui duas utilizações distintas: o uso rural e o uso urbano. A Tabela 13 apresenta a ocorrência das classes de fragilidade emergente.

Tabela 13 - Fragilidade emergente da microbacia do alto do rio Sarandi

Fragilidade Emergente	Área (Km <sup>2</sup> )	Ocorrência (%)
Muito Baixa	5,20	4,44
Baixa	14,55	12,50
Média	58,35	49,98
Alta	37,86	32,45
Muito Alta	0,75	0,63
Total	116,71	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Conforme a Tabela 13, a classe de fragilidade ambiental emergente mais representativa é a classe “Média”, que ocorre em 49,98% da área total da microbacia, o que corresponde a uma extensão territorial de 58,35 km<sup>2</sup>, podendo se observar também a partir da Figura 19.

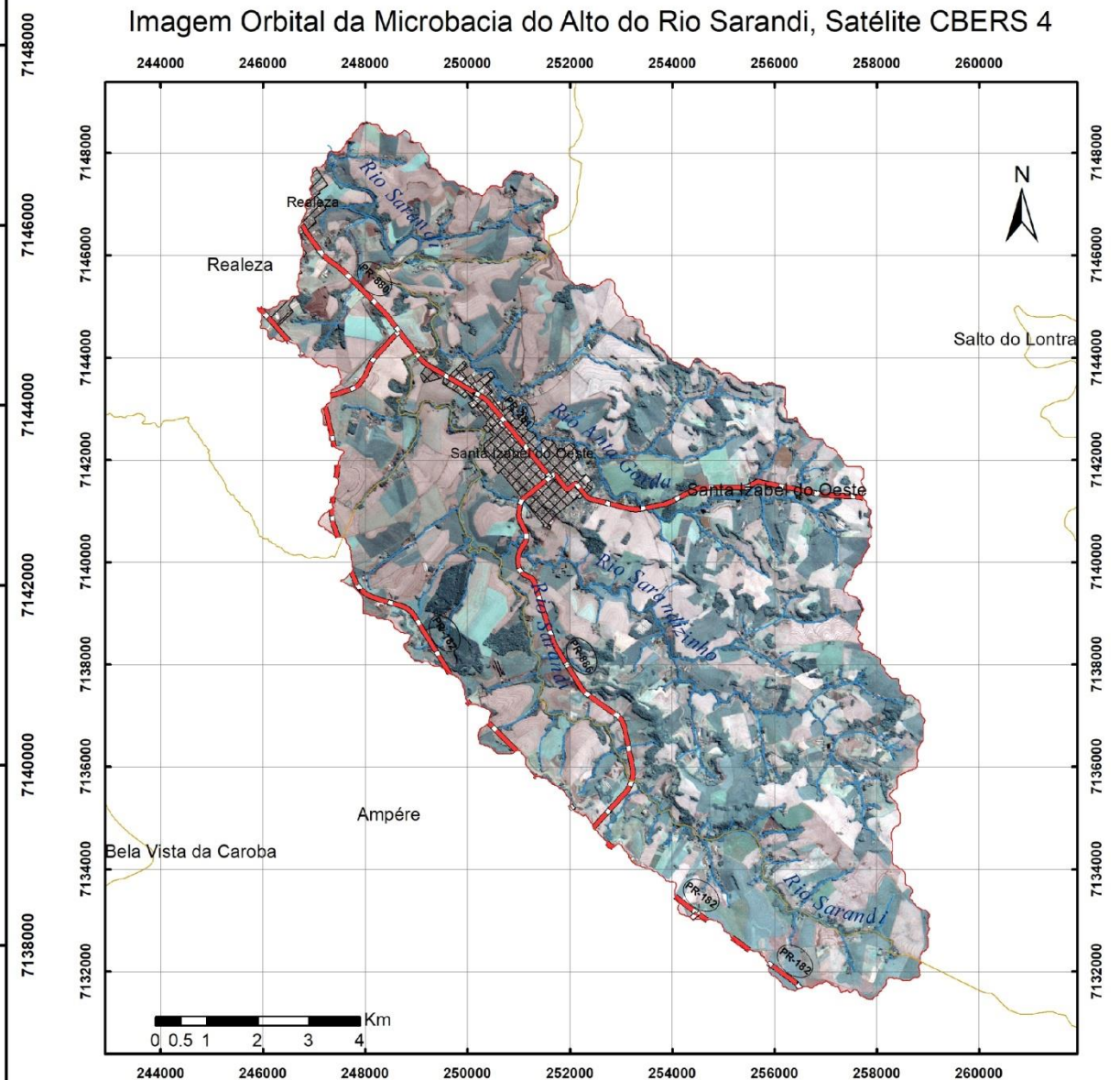
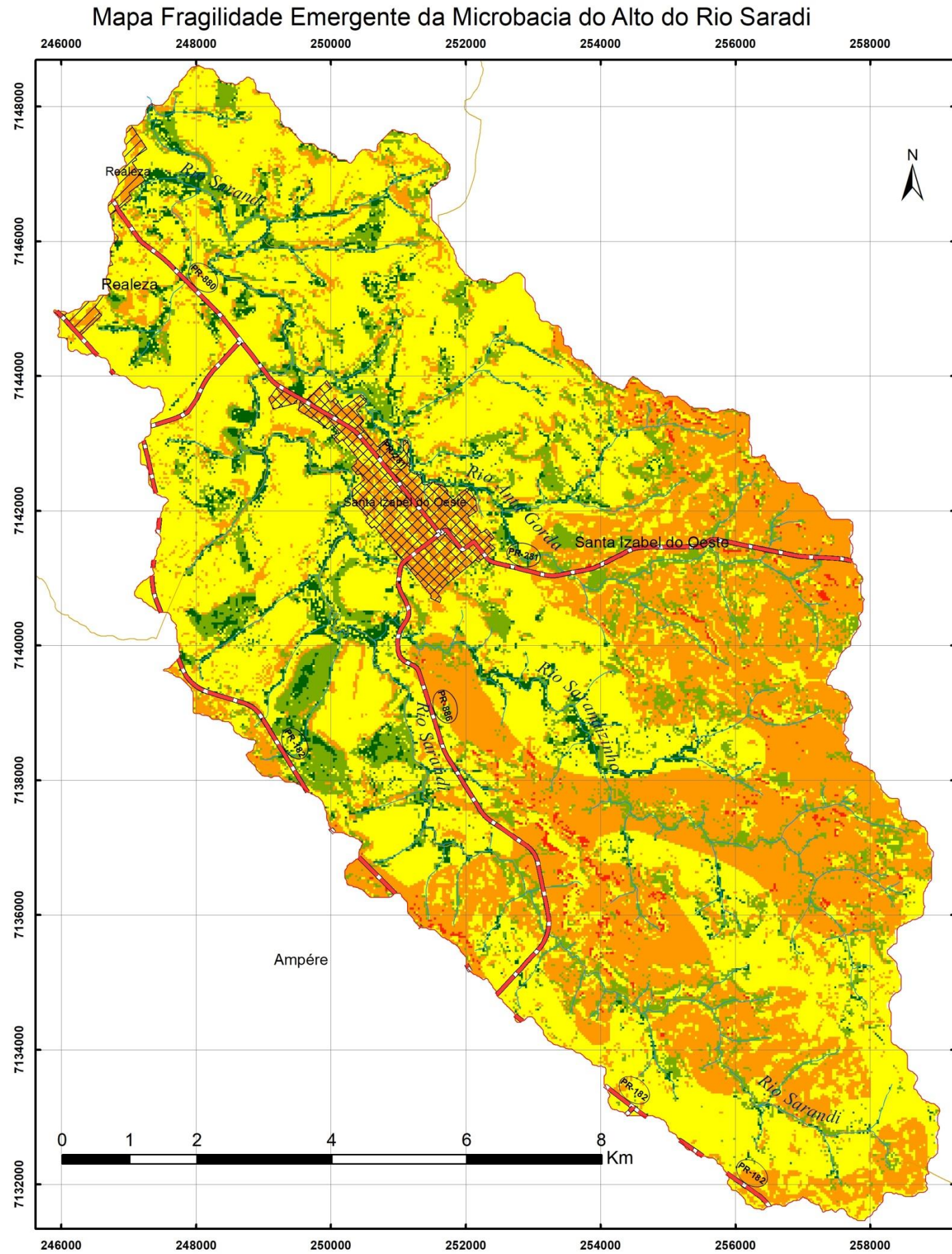
Esta classe ocorre distribuída por todos os setores da bacia, sendo mais presente, porém, no baixo curso, sobretudo entre as áreas urbanas dos municípios de Santa Izabel do Oeste e Realeza.

No setor rural da bacia hidrográfica, a ocorrência da fragilidade emergente “Baixa”, relaciona-se, de maneira geral, com as áreas exploradas pela agropecuária. Neste sentido, a classe de fragilidade emergente “Baixa” associa-se à presença de Latossolos. Como ocorre associada a este tipo de solo, desenvolve-se sobre declividades de até 20%, geralmente.

Outra classe de fragilidade emergente representativa na bacia do rio Sarandi é a fragilidade “Forte”, que ocorre em 32,45% da área total da bacia, representando desta maneira uma extensão territorial de 37,86 km<sup>2</sup>, conforme demonstra a Tabela 13. Esta classe desenvolve-se predominantemente no alto e médio curso da microbacia.



Figura 19 - Mapa Fragilidade Emergente da Microbacia do Alto do Rio Sarandi



Sistemas de Coordenadas:  
SIRGAS 2000 UTM, Zona 22 Sul  
Projeção: Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba, SC  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

- Legenda:**
- Microbacia Alto Rio Sarandi
  - Hidrografia
  - Limites Municipais
  - Malha Rodoviária
  - Área Urbana Realeza
  - Área Urbana Sta Izabel do Oeste

- Fragilidade Emergente**
- 1 - Muito Baixa
  - 2 - Baixa
  - 3 - Média
  - 4 - Forte
  - 5 - Muito Forte

Autor: Helder Calsavara Ferreira

Ano: 2017

A fragilidade ambiental emergente classificada como “Forte” está ligada, de maneira geral, àquelas áreas que apresentam a categoria de uso da terra agropecuário e o urbano. Mesmo os setores que apresentam declividades de até 12% e solos profundos como os Latossolos e sendo, portanto, classificadas como áreas de fragilidade potencial “Baixa”, como a área do perímetro urbano de Santa Izabel do Oeste, quando confrontados com o tipo de uso, apresentam fragilidade emergente “Média”. Entretanto, a porção mais representativa desta classe desenvolve-se sobre os Nitossolos e Neossolos, em declividades de até 30%.

As classes definidas como de “Muito Baixa” e “Baixa” fragilidade emergente ocorrem em 5,20% e 14,55% da área total, respectivamente, representando assim extensão de 4,44 km<sup>2</sup> e 12,50 km<sup>2</sup>, conforme a Tabela 13, e ocorrem dispersas em pequenas faixas por todos os setores da bacia, ao longo da hidrografia, correspondendo a algumas áreas de APP. Nota-se a presença de áreas de “Muito baixa” e “Baixa” fragilidade emergente, também em regiões fora da APP, em áreas de relevos com até 20% de declividade, sobre regiões assentadas em Latossolos. Portanto, no setor rural da bacia, essas classes de fragilidade emergente relacionam-se de maneira significativa com as áreas que são ocupadas por cobertura vegetal representada pelas matas, porém, em alguns locais onde as declividades são maiores e o tipo de solo existente é caracterizado como solo altamente suscetível à erosão, a presença da mata não garante uma fragilidade emergente “Muito Baixa”.

Sendo assim, apesar de estar ligada de forma expressiva à presença das matas, a fragilidade emergente “Muito Baixa” também ocorre a partir da existência de solos que apresentam boa profundidade e possuam, em geral, boa drenagem, como é o caso do Latossolo.

Nas áreas assentadas sobre os Nitossolos e Neossolos, conforme apresentado na Figura 19 acima, ocorrem pequenas áreas onde ocorre “Alta” fragilidade, sendo que a utilização do solo é caracterizada como “Solo Exposto”. A classe de fragilidade emergente “Muito Alta” está presente em 0,63% da área, o que representa em extensão territorial 0,75 km<sup>2</sup>, representado na Tabela 13 acima. Esta classe localiza-se nas partes mais altas da microbacia, nas áreas das nascentes dos principais cursos d’água. Sua ocorrência está associada à presença de declividades acima de 20%, a uma utilização do solo caracterizada como sendo de “Solo Exposto”.

Como existe uma sazonalidade da produção agrícola em função da temperatura, no período em que o solo não está exposto, ou seja, quando o mesmo é ocupado por culturas como milho e soja, a classe de fragilidade emergente “Muito Forte” apresenta diminuição, e em detrimento a isto, há um aumento da classe “Forte”. Isto ocorre devido a maior proteção oferecida pelas culturas de ciclo curto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Em pesquisas na área ambiental, invariavelmente, é necessária a observação dos elementos formadores do ambiente natural, avaliar os processos que os formam, a fim de entender a dinâmica dos mesmos. A questão da fragilidade ambiental relaciona-se tanto com a dinâmica dos elementos naturais quanto com o modo que o ser humano utiliza esses elementos naturais. Da mesma maneira é preciso considerar a dinâmica de ocupação da microbacia, a partir da ação humana, visto que esta ação é, em muitos casos, determinante para o equilíbrio ou desequilíbrio ambiental.

A presente pesquisa teve como resultado síntese a construção de dois mapas de fragilidade ambiental. O primeiro de fragilidade potencial (Figura 16), obtido a partir do cruzamento dos mapas de declividade com o mapa de solos. O segundo de fragilidade emergente (Figura 19), obtido a partir do cruzamento do mapa de fragilidade potencial com o mapa de usos atuais do solo.

Em relação à fragilidade potencial, a partir dos resultados obtidos, pode-se dizer que a microbacia hidrográfica do alto do rio Sarandi apresenta uma paisagem com declividades, em geral, pouco acentuadas e a presença de solos com boa profundidade e drenagem garantiriam à microbacia uma estabilidade natural ao se considerar apenas os fatores morfogenéticos, principalmente nas áreas assentadas sobre Latossolos. Entretanto, grande parte das nascentes nas cabeceiras dos rios Sarandi, Sarandzinho e Anta Gorda estão localizadas em áreas de fragilidade “Forte” ou “Muito Forte”, com declividades mais elevadas que o restante da microbacia e sobre solos mais suscetíveis à erosão, Nitossolos e Neossolos.

Assim, a fragilidade potencial da microbacia do alto do rio Sarandi classifica-se em sua maior parte como “Fraca”, com 54,90% da área total da microbacia sendo representada por essa classe. De forma significativa, áreas com fragilidade potencial “Média” e “Muito Fraca” distribuem-se por 30,98% e 23,54%, respectivamente. Tal fato deve-se à presença de solos com baixa vulnerabilidade à erosão e ao relevo pouco ondulado presentes na área de estudo. Contudo, por se tratar de uma área de manancial de abastecimento público, há de se tomar medidas de controle em toda a extensão da microbacia, porém, principalmente nas áreas com fragilidades mais elevadas, pois estas estão localizadas justamente em áreas de grande concentração de nascentes.

Portanto, mesmo não havendo o predomínio de áreas potencialmente frágeis, não se deve afirmar que a área apresenta estabilidade, pois ao se estabelecer a fragilidade potencial não há a ponderação da forma de uso e ocupação da terra, então, essa estabilidade natural presente em 66,92% da área não isenta a microbacia de problemas relacionados à erosão, principalmente dentro das áreas deficitárias de florestas ciliares em áreas de APP, pois isto torna o solo mais susceptível a ser transportado em períodos de precipitação intensa. Tal fato é ainda mais crítico nas zonas com declividades mais acentuadas e com solos mais frágeis. Segundo Vashchenki, Favaretto e Biondi (2007), a presença da vegetação nessas áreas, por apresentar alto grau de proteção, ameniza a fragilidade potencial. Oliveira et al. (2012) acrescentam que é evidente a importância da floresta natural na estabilidade ecodinâmica, em especial a mata ciliar.

Os mesmos autores verificaram redução da fragilidade em locais com fragilidade potencial “Forte” e “Muito Forte” e coberto por vegetação natural, resultando classes de fragilidade emergente de menor intensidade. Por sua vez, Donha, Souza e Sugamoto (2006) constataram que a classe de fragilidade emergente “Média” ocorreu predominantemente em áreas de agricultura convencional, ou seja, as atividades humanas aumentaram a fragilidade ambiental, devido à retirada ou diminuição da cobertura vegetal.

Assim, de forma análoga, as classes de fragilidade emergente, definidas como sendo “Forte” e “Muito Forte”, estão ligadas à supressão da vegetação nativa, a relevos mais inclinados, acima de 12%, e associados aos Nitossolos e Neossolos, solos com menor profundidade e menor capacidade de drenagem (EMBRAPA, 2013). Para Tabalipa e Fiori (2008), a presença de vegetação em encostas é capaz de torná-las menos susceptíveis a escorregamentos, sendo, portanto, um fator positivo que provoca o aumento do índice de segurança.

Ainda em relação à fragilidade emergente, nota-se que, na microbacia do alto do rio Sarandi, as classes de fragilidade compreendidas entre “Muita Baixa” a “Média” representam 66,92% e as classificadas como “Forte” e “Muito Forte” representam 33,08% da área total da bacia hidrográfica.

A ocorrência das classes de “Muita Baixa” a “Média” acontece em função de declividades pouco acentuadas, sendo que declividades de até 20% estão presentes em 95,40% da área total, e em função do tipo de solo predominante na área. Por

sua vez, as classes “Muito Baixa” e “Baixa” só ocorrem em função da presença da cobertura florestal sobre estas áreas.

A microbacia apresenta 68,83% da sua área total utilizada para atividades agropecuárias e 8,70% classificada como solo exposto. Pode-se inferir, portanto, que a área de uso e ocupação agropecuária pode chegar a 77,53% da área total da microbacia. Apenas 19,29% são ocupadas com mata nativa e reflorestamento. Assim a forma como ocorre o uso do solo da microbacia classificam-na como fragilidade ambiental emergente “Média” (49,98%) a “Alta” (32,45%).

Conclui-se, portanto, que a retirada da cobertura vegetal nativa por si só é um agravante da condição ambiental para qualquer área. Quando associada a fatores naturais, como declividade e tipo de solo, esta ação pode se tornar devastadora, quando praticada sem controle. A microbacia em questão está próxima aos limites da potencialidade de uso do solo, não estando mais naturalmente protegida contra a erosão.

Ações de conservação do solo vêm sendo desenvolvidas na região ao longo dos anos pela EMATER, tais como a introdução do terraceamento nas lavouras, programas de proteção de nascentes e preservação de microbacias. Tais ações levaram inclusive a uma melhora na qualidade das águas captadas pela SANEPAR, quanto à turbidez (PAZ, 2010).

Neste sentido, a reconstituição da vegetação de proteção, tanto no setor urbano como no setor rural, torna-se uma medida necessária para o controle da perda de solo, o que acabaria contribuindo, inclusive, para a manutenção da fertilidade natural, como também para a adequação às normas legais.

Contudo, o novo Código Florestal, Lei Federal nº 12.651 – Brasil (2012), alterou alguns procedimentos de relevância na adequação ambiental, tais como a não desobrigação do proprietário rural de promover a averbação da Reserva Legal. O mesmo prevê a constituição do Cadastro Ambiental Rural (CAR) como ferramenta de informação para a Gestão Territorial Nacional e a possibilidade da utilização das APP's ocupadas irregularmente, agora denominadas Áreas Consolidadas. Também promoveu a suspensão de multas ao produtor em troca de sua adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA), alterou a largura de recomposição das APP's em função do módulo rural, propiciando assim segurança jurídica e, por consequência, diminuiu o contingente de produtores à margem da legislação ambiental.

Com a crescente demanda do uso de recursos naturais, o planejamento ambiental tem se tornado cada vez mais importante para a gestão e o desenvolvimento sustentável. Assim, o presente trabalho mostra-se como um importante subsídio para realização do planejamento na unidade da microbacia hidrográfica.

Conseqüentemente, este sistema de diagnóstico ambiental revela-se eficaz em apontar áreas potencialmente frágeis do ponto de vista ambiental. Este método pode ser aplicado em outras escalas e com diferentes fatores ambientais incluídos na análise.

A determinação da qualidade ambiental a partir do uso de *softwares* SIG, associados a um banco de dados geográficos, técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, destacou-se como uma importante ferramenta para a elaboração dos produtos cartográficos. Esses produtos permitiram a avaliação da fragilidade ambiental.

O uso de geotecnologias mostrou-se uma ferramenta útil e competente, adequada ao planejamento territorial, podendo auxiliar no gerenciamento de microbacias por parte das autoridades do Poder Público, com a possibilidade de aplicação desta ferramenta em diferentes escalas e com o auxílio de fatores ambientais diversos.

O estudo de cada uma das propriedades rurais e das áreas urbanizadas poderia auxiliar para uma melhor compreensão da forma de uso e ocupação do solo, revelando a forma como ocorreu a expansão das atividades agrícolas. Desta forma, seria possível a criação de um plano de manejo individualizado para cada unidade territorial. Tal estudo deve elencar o reconhecimento das feições topográficas da área em questão, a fim de melhor caracterizar o relevo da microbacia.

Novos estudos devem ser desenvolvidos objetivando a avaliação da qualidade das águas, ponderando sobre a possibilidade da contaminação das águas do manancial por agrotóxicos, organofosforados e carbamatos, devido à reduzida ou mesmo a ausência da proteção vegetal ao longo dos cursos d'água.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. do Código Florestal para o Código da Biodiversidade. **Biota Neotrop**, v. 10, n. 4, 2010.
- ÁGUAS PARANÁ - Instituto das Águas do Paraná. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em:  
<<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264>>. Acesso em: 3 mar. 2017.
- ALBRECHT, J. The Europeanization of water law by the Water Framework Directive: A second chance for water planning in Germany. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 381–391, jan. 2013.
- ALMEIDA, J. Da ideologia do progresso à idéia de desenvolvimento (rural) sustentável. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 15, n. Especial, p. 51–85, 1997.
- ALSHUWAIKHAT, H. M. Strategic environmental assessment can help solve environmental impact assessment failures in developing countries. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 25, n. 4, p. 307–317, maio 2005.
- ALVES, H. Q.; ROSSETE, A. N. **Áreas de uso e de conflito em APP na microbacia hidrográfica do Córrego Murtinho, Nova Xavantina – MT**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. Disponível em:  
<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.06.55/doc/3701-3708.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2016
- ANDERSON, J. R. et al. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- ARAÚJO, E. P. D. A.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Natal: INPE, 2009. Disponível em:  
<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.07.25/doc/4631-4638.pdf?languagebutton=pt-BR>>. Acesso em: 26 jun. 2016
- ASSAD, E. D. **Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1998.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In:



- RODRIGUES, R. R. et al. (Eds.). . **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, FAPESP, 2001. p. 320.
- BOLZAN, N. **Mudanças da paisagem em duas microbacias do bioma Pampa Gaúcho-RS: uma análise com base em mapas, índices descritores e sistemas de acesso a terra**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. DE; (ORG). **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: UNESP - IGCE, 2003.
- BRASIL. **Programa nacional de microbacias hidrograficas - manual operativo**. Brasília: Ministério da Agricultura, Comissão Nacional de Coordenação do PNMH, 1987.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Congresso Nacional, 1988. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>.  
Acesso em: 25 jan. 2016
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, 1997. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 25 jun. 2015
- BRASIL. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Brasília, 2001. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 2 set. 2015
- BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 15 jun. 2015
- CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. São José dos Campos: Escola de Computação, SBC, 1996.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CARDOSO, A. S. **Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.
- CARTER, N.; KREUTZWISER, R. D.; LOE, R. C. DE. Closing the circle: linking land use planning and water management at the local level. **Land Use Policy**, v. 22, n. 2, p. 115–127, 2005.
- CASANOVA, M. et al. **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005.
- CATELANI, C. DE S.; BATISTA, G. T. Mapeamento das Áreas de Preservação

Permanente (APP) do município de Santo Antônio do Pinhal, SP: um subsídio à preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 2, n. 1, p. 31–43, 2007.

CAVIGLIONE, J. H. et al. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CECÍLIO, R. A. **Manejo de Bacias Hidrográficas**, Vitória: Notas de Aula dos Cursos de Pós-Graduação em Ciências Florestais e em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Disponível em:

<<https://drive.google.com/file/d/0B1ALnzLTW9iPV1lwTDZFUXhsWHM/view>>.

Acesso em: 18 dez. 2016

CIDADE, L. C. F. Visões de mundo, visões da natureza e a formação de paradigmas geográficos. **Terra Livre**, v. 17, n. 2. semestre, p. 99–118, 2001.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução no 01, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília: CONAMA, 1986.

COSTA, T. C. E C. DA; SOUZA, M. G. DE; BRITES, R. S. **Delimitação e Caracterização de Áreas de Preservação Permanente, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Salvador: Anais VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 1996. Disponível em:

<<http://mar.te.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.16.17/doc/T48.pdf>>.

Acesso em: 15 jun. 2016

CREPANI, E. et al. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. **Inpe (Inpe-8454-Rpq/722)**, p. 103, 2001.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica Do Glória - Mg. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 3, n. 62, p. 505–516, 2010.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Estudo Temporal do Uso da Terra e na Comparação entre Classificação Não-Supervisionada e Análise Visual**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2001.

DIAS, H. C. T. et al. Geoambientes do parque Estadual do Ibitipoca, Município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 777–786, 2002.

DONHA, A. G. .; SOUZA, L. C. DE P. .; SUGAMOSTO, M. L. . Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 175–181, 2006.

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. **Carta Topográfica - Folha SG.22-V-C-IV-4, Realeza - MI-2848/4**. Brasília: Ministério do Exército, 1980a. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>>

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. **Carta Topográfica - Folha SG.22-V-C-V-3, Santa Isabel do Oeste - MI-2849/3**. Brasília: Ministério do Exército, 1980b. Disponível em:

<<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da X Reunião de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos, 1979.

EPIPHANIO, J. C. N. **CBERS: estado atual e futuro**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Natal**: INPE, 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.12.46/doc/2001-2008.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017

EPIPHANIO, J. C. N. **CBERS-3/4: características e potencialidades**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...Curitiba**: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1222.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017

FAUSTINO, J. **Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales**. Turrialba: CATIE, 1996.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 345.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização das águas pluviais: (100 maneiras práticas)**. Curitiba: Chain, 2002.

FERREIRA, C. S. **Avaliação Temporal do Uso e Ocupação das Terras na Bacia do Rio São Bartolomeu, DF**. [s.l.] Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FRANCELINO, M. R. **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2004.

FRANCO, G. B. et al. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia

- do Rio Almada, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**, v. 42, n. 1, p. 114–127, 2012.
- FUSHITA, Â. T. et al. Erosão de uma Área da Região Geoeconômica Médio Mogi Guaçu Superior (Sp). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 4, n. 64, p. 477–488, 2011.
- GHEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina-PR, com o auxílio de geoprocessamento**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2003.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. Disponível em: <<http://www.cbears.inpe.br/index.php>>. Acesso em: 2 mar. 2016.
- ITGC - Instituto de Terras Cartografia e Geologia do Paraná. **Dados e Informações Geoespaciais Temáticos**. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9#>>. Acesso em: 15 out. 2017.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.
- LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.
- LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de Qualidade de Solo e Água para a Avaliação do Uso Sustentável da Microbacia Hidrográfica do Rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná**. [s.l.] Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- LIMA, W. D. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R. et al. (Eds.). **Matas Ciliares: Conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, FAPESP, 2014. p. 320.
- MAGALHÃES, C. DE S.; FERREIRA, R. M. A. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 207, p. 33–39, 2000.
- MASCARENHAS, A.; RAMOS, T. B.; NUNES, L. Developing an integrated approach for the strategic monitoring of regional spatial plans. **Land Use Policy**, v. 29, n. 3, p. 641–651, jul. 2012.
- MEDEIROS, A. **Anderson Medeiros - Consultor em Geotecnologias**. Disponível em: <<http://www.andersonmedeiros.com/>>. Acesso em: 2 maio. 2017.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao Processamento de Imagens**

**de Sensoriamento Remoto.** Brasília: UNB-CNPQ, 2012.

MINENOPAR - Minérios do Paraná. **Projeto Riquezas Mineraias – Avaliação do Potencial Mineral e Consultoria Técnica à Prefeitura Municipal de Realeza.** Curitiba: MINEROPAR, 2002.

MONDARDO, M. L. A dinâmica migratória do Paraná: o caso da região Sudoeste ao longo do século XX. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 28, n. 1, p. 103–131, 2011.

MONTEIRO, R. C. **ESTIMATIVA ESPAÇO-TEMPORAL DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NA CIDADE DE RIBEIRÃO PRETO ( SP ), BRASIL.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2003.

MORAES, J. F. L. et al. **Avaliação da adequação do uso da terra em microbacias hidrográficas com auxílio de sistemas de informação geográfica.** (SBCS, Ed.)XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...**Rio de Janeiro: XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1997

MOREIRA, L. **ANÁLISE MORFOMÉTRICA E BIODIVERSIDADE DA VEGETAÇÃO NA MICROBACIA HIDROGÁFICA DA FAZENDA EXPERIMENTAL EDGÁRDIA.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2007.

MOSCA, A. A. de O. **Identificação De Indicadores Hidrológicos Para O Monitoramento Ambiental Do Manejo De Florestas Plantadas.** [s.l.] Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

NARDINI, R. C.; CAMPOS, S.; RECHE, A. M. Avaliação Das Áreas De Conflito De Uso Em App Da Microbacia Do Alto Água Fria , Bofete ( Sp ). Evaluation of the Use of Conflict Areas in App of Watershed Alto Água Fria , Bofete ( Sp ). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, p. 29–40, 2014.

NASA. **National Aeronautics and Space Administration.** Disponível em: <<https://www.nasa.gov/>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

NASCIMENTO, M. C. do et al. **Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre.** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Goiânia: INPE, 2005Disponível em: <<http://mart.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.18.18.26/doc/2289.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2016

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

- ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.
- OLIVEIRA, R. et al. Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego São João-MS Utilizando Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 64, p. 15–24, 2012.
- OLIVEIRA, M. J. de. **Proposta Metodológica para Delimitação Automática de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morro e em Linha de Cumeada**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- OLIVEIRA, M. Z. DE et al. **Delimitação de Áreas de Preservação Permanente: Um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um sistema de informação geográfica (SIG)**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Florianópolis: 2007** Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.53/doc/4119-4128.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2016
- ORTIZ, M. J. **Integração de Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas e Banco de Dados, na Identificação de Culturas Agrícolas de Inverno**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1993.
- PACHECHENIK, P. E. et al. Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava, PR - Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 47, p. 1–14, 2013.
- PAZ, C. R. S. **SIG – Metodologia - Adequação ambiental em propriedades rurais em mananciais de abastecimento público: conseqüências socioeconômicas**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- PERES, R. B.; SILVA, R. S. DA. **A relação entre Planos de Bacia Hidrográfica e Planos Diretores Municipais: Análise de Conflitos e Interlocações visando Políticas Públicas Integradas**. V Encontro Nacional da Anppas. **Anais...Florianópolis: ANPPAS, 2010** Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT3-647-646-20100903160334.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2016
- POLLO, R. A. **Diagnóstico do Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Paraíso no Município de São Miguel (SP), por Meio de Geotecnologias**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2013.
- RABUS, B. et al. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of**

- Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241–262, fev. 2003.
- RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. 4. ed. Belin: Springer, 2006.
- RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. **Estudo de Revitalização de Cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC, Joinville – SC**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Maceió: ABRH, 2011Disponível em: <[www.abrh.org.br](http://www.abrh.org.br)>
- RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. DE F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. ed. São Paulo: Edusp, 2000.
- RODRIGUES, V. A. **Aspectos da sustentabilidade das microbacias hidrográficas**. In: Livro, **Workshop Em Manejo de Bacias Hidrográficas**. Botucatu: UNESP, FCA, 2003.
- RODRÍGUEZ, A. C. M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do Município de são sebastião - sp, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM - LANDSAT e HRV – SPOT**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE, 2000.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Editora Contexto, 1990.
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica Da Fragilidade Dos Ambientes Naturais Antropizados. **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. 8, n. 0, p. 63–74, 7 nov. 1994.
- SAITO, É. A. **Identificação de áreas de mata ciliar em região do Pontal do Paranapanema-SP utilizando fusão de imagens CCD/CBERS-2B e HRC/CBERS-2B**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Natal: INPE, 2009Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.12.12.07/doc/2989-2994.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2016
- SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003.
- SANTOS, J. DE O. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza-CE**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2016.
- SANTOS, R. F. DOS. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SANTOS, E. DOS. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental Hidrográfica do Rio**

**Jirau Município de Dois Vizinhos - Paraná.** [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2005.

SANTOS, R. F. DOS. **Vulnerabilidade Ambiental.** Brasília: MMA, 2007.

SEED - Secretaria de Estado de Educação do Paraná. **Elemento da Bacia Hidrográfica.** Disponível em:

<<http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/listaEventos.php>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

SERIGATTO, E. M. et al. **Conflito de uso da terra nas áreas de preservação permanente na sub-bacia do rio Queima Pé , MT.(um estudo de caso).** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.45/doc/3569-3576.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2016

SILVA, S. R. M.; TEIXEIRA, B. A. N. **O Estatuto da cidade: a abordagem ambiental em lei federal de orientação básica aos planos diretores municipais.** VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades do Grupo de Montevideu. **Anais...**São Carlos: UFSCar, 2009

SILVEIRA, A.; CUNHA, C. M. L. DA. **A Influência da Declividade nos Processos erosivos da Bacia do Tijuco Preto - SP.** VI Simpósio Nacional de Geografia. **Anais...**Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira - UBG, 2006Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/110.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2016

SOUZA, L. C. DE P. et al. Estudo do meio físico na avaliação de bacias hidrográficas utilizadas como mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Eds.). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados.** Curitiba: Sanepar/Finep, 2005. p. 123–150.

SPÖRL, C.; LUCIANO, J.; ROSS, S. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39–49, 2004.

STEFFEN, C. A. **Técnicas Radiométricas com o Spectron SE-590.** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Salvador: INPE, 1996Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.11.01/doc/T177.pdf>>.

Acesso em: 27 jun. 2017

STEFFEN, C. A. **Apostila: Introdução ao Sensoriamento Remoto.** Disponível em:



<<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 26 out. 2016.

STEPHAN, I. I. C. **Planos diretores e leis do uso do solo: sua aplicação em cidades de médio porte**. XII ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, Belém. **Anais...**Niterói: ANPUR, 2007Disponível em: <<http://www.anpur.org.br/anaisAbrir/60/1/anais-do-xii-ena>>

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Influência da vegetação na estabilidade de taludes na bacia do Rio Ligeiro (PR). **Geociencias**, v. 27, n. 3, p. 387–399, 2008.

TAVARES, S. R. DE L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

TEIXEIRA, M. P. DOS R. . **Contabilidade Ambiental emergética: uma análise comparativa entre sistemas de produção leiteira**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

THOMÉ, R. **Interoperabilidade em geoprocessamento: conversão entre modelos conceituais de sistemas de informação geo- gráfica e comparação com o padrão OPEN GIS**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

TONELI, C. A. Z.; CARVALHO, L. M. T. DE; ACERBI JUNIOR, F. W. **Utilização das imagens Landsat TM nas épocas de verão e inverno para classificação de diferentes formações vegetais**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...**Natal: INPE, 2009. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.11.04/doc/3127-3134.pdf>>

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. [s.l.] Editora da UFRGS, 2001.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.

UGEDA JÚNIOR, J. C. Planejamento Da Paisagem E Planejamento Urbano: Reflexões Sobre a Urbanização Brasileira. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, v. 17, n. 1, p. 101–116, 2014.

VALE JÚNIOR., J. F. DO et al. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de Acacia mangium em Roraima. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 3, n. 1, p. 1–8, 2009.

VALERIANO, M. DE M. Curvatura Vertical de Vertentes em Microbacias pela Análise

de Modelos Digitais de Elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539–546, 2003.

VALERIANO, M. DE M. **Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM Disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004.

VALERIANO, M. DE M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. Pike Giles & Franklin, 2005. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>>.

Acesso em: 23 jan. 2017

VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade ambiental nos Picos Camacã, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, Pr. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 201–215, 2007.

VESTENA, L. R.; THOMAZ, E. L. Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Ambiência**, v. 2, n. 1, p. 73–85, 2006.

WEBER, E. et al. **Estruturação de Sistemas de Informação Ambiental em Bacias Hidrográficas: o Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Caí - RS**. IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento. **Anais...** Curitiba: 1998 Disponível em: <[http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Congressos/1998/Weber\\_et\\_al\\_1998\\_Estruturacao\\_SIG\\_bacia\\_rio\\_Cai.pdf](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Congressos/1998/Weber_et_al_1998_Estruturacao_SIG_bacia_rio_Cai.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2016

WOOD, J. **The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models**. [s.l.] University of Leicester, 1996.