



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / FACULDADE DE GEOLOGIA
I CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNOLOGIAS E SUAS
ESPECIALIZAÇÕES

Cleber Cristian Sebrian da Silva

Uso de geotecnologia na delimitação e classificação da ocupação e uso do solo das matas ciliares – Estudo de caso dos principais rios do Município de Alto Paraíso - RO.

**Belém - PA
2016**

Cleber Cristian Sebrian da Silva

Uso de geotecnologia na delimitação e classificação da ocupação e uso do solo das matas ciliares – Estudo de caso dos principais rios do Município de Alto Paraíso - RO.

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Especialista em Geotecnologias e suas especializações.

Área de concentração: Sensoriamento remoto e meio ambiente.

Orientador: Dr. Cícero de Souza.

**Belém – PA
2016**

Ficha Catalográfica

SILVA, Cleber Cristian Sebrian da

USO DE GEOTECNOLOGIA NA DELIMITAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO DAS MATAS CILIARES – ESTUDO DE CASO DOS PRINCIPAIS RIOS DO MUNICÍPIO DE ALTO PARAÍSO - RO.

Cleber Cristian Sebrian da Silva

Belém – PA: [p 49], 2016.

Orientador: Dr. Cicero de Souza

Monografia (Pós Graduação) – Universidade Federal do Pará - UFPA.

Belém -PA.

1. Geotecnologia; 2. Mata Ciliar; 3. Classificação de Imagem.

Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências / Faculdade de Geologia.

Cleber Cristian Sebrian da Silva

Uso de geotecnologia na delimitação e classificação da ocupação e uso do solo das matas ciliares – Estudo de caso dos principais rios do Município de Alto Paraíso - RO.

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Especialista em Geotecnologias e suas especializações.

Área de concentração: Sensoriamento remoto e meio ambiente.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Cícero de Souza – Orientador
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Paraíba - UFPB

Membro da Banca

Membro da Banca

DEDICATÓRIA

A minha esposa e aos meus pais:
Sebastião e Marli.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai onipotente que me concedeu a honra de vivenciar este momento.

À Agência IDARON, em nome da chefe Maria Alice e o Supervisor Alberto Dias Stangue, pela compreensão nos momentos que tive que me ausentar das minhas funções/deixar de colaborar na execução de atividades especiais por indisponibilidade de tempo em razão da execução do curso.

Aos meus pais que sempre me apoiaram em todos os momentos de minha vida.

Ao meu orientador Dr. Cicero de Souza, por toda sua orientação e esclarecimentos prestados no desenvolvimento desta deste estudo.

Ao engenheiro agrônomo Herbert Silva Cardoso que não mediu esforços em colaborar/auxiliar na realização deste trabalho.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram a realizar este curso.

E, por fim a minha esposa Francineide, que sempre me apoiou nas minhas decisões, compartilhando comigo de todos os esforços despendidos para a conclusão deste curso.

RESUMO

Com o avanço da geotecnologia, torna-se cada vez mais comum o uso de sensores orbitais para identificar e classificar formas de ocupação e uso do solo nos ambientes terrestres. Há a alteração de ambientes que em alguns casos deveriam permanecer isentos de antropização, ou seja, áreas de preservação permanente e entre estas, destaca-se as matas ciliares. Este trabalho teve como objetivo principal identificar e quantificar as áreas de mata ciliar preservadas e as antropizadas, o qual foi elaborado por meio de pesquisas, estudos de caso e emprego de metodologias e técnicas de geotecnologias, com o intuito de demonstrar a manipulação destas, como ferramentas que proporcionam a delimitação, mensuração, classificação do uso e ocupação de solo e ainda o mapeamento de áreas de matas ciliares de forma automatizada, tendo como premissa a eficiência e economicidade do processo. Na área de estudo foram eleitos os principais rios e suas respectivas matas ciliares para o desenvolvimento da pesquisa, na qual foram analisados 6.134,8968 hectares de mata ciliar, utilizando-se *softwares* de geoprocessamento realizou-se a classificação da imagem de sensores orbitais e quantificou-se as classes de uso e ocupação de solos inseridas indevidamente nestas áreas, alcançando-se desta forma o resultado satisfatório e, tornando o Processamento Digital de Imagens um poderoso instrumento gerencial de suporte à identificação remota de usos do solo.

Palavras-chave: Geotecnologia. Mata Ciliar. Classificação de Imagem.

ABSTRACT

With the advancement of geotechnology, increasingly common it is the use of satellite sensors to identify and classify forms of occupation and land use in terrestrial environments. There changing environments in some cases should remain free of human disturbance, ie, permanent preservation areas and among these, there is the riparian forests. This study aimed to identify and quantify areas of riparian forest preserved and disturbed, which was developed through research, case studies and use of methodologies and geotechnology techniques, in order to demonstrate the manipulation of these, as tools that provide the definition, measurement, classification of land use and land occupation and even the mapping of riparian forests in an automated manner, taking as its premise the efficiency and economy of the process. In the study area were elected the major rivers and their riparian areas for the development of research, which analyzed 6134.8968 hectares of riparian forest, using geoprocessing software realized the image classification of orbital sensors and quantified -if such classes of use and occupation of land improperly inserted in these areas, reaching in this way a satisfactory result and making the Digital Image Processing a powerful management tool to support the remote identification of land uses.

Keywords: Geotechnology. Riparian Forest. Image rating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização do Município de Alto Paraíso	14
Figura 2–	Bacias hidrográficas do Estado de Rondônia	15
Figura 3 –	Principais Rios e Microbacias do Município de Alto Paraíso.....	15
Figura 4 –	Representação das faixas marginais de matas ciliares em cursos d'água	19
Figura 5 –	Obtenção de imagens por sensoriamento remoto	23
Figura 6 –	Espectro Eletromagnético	23
Figura 7 –	Representação matricial de imagem digital em 256 níveis de cinza..	26
Figura 8 –	Esquema dos passos fundamentais de Processamento de Imagem Digital	27
Figura 9 –	Mapas oriundos da interpretação de Imagens Digitais	28
Figura 10 –	Município de Alto Paraíso e Canais de Drenagem (<i>Channels</i>) Direções dos Fluxos (<i>Flow Direction</i>).....	32
Figura 11 –	Município de Alto Paraíso e Bacias de Drenagem (<i>Drainage Basins</i>)	32
Figura 12 –	Município de Alto Paraíso e seus principais rios	33
Figura 13 –	Exemplo de limite de aceitação de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Um "pixel" localizado na área sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1	35
Figura 14 –	Delimitação da área de mata ciliar utilizando a ferramenta <i>software</i> QGIS	38
Figura 15 –	Mapa de classificação e uso do solo do Município de Alto Paraíso – RO.....	39
Figura 16 –	Mapa individual das classes.....	40
Figura 17 –	Mapa das classes vetorizadas	41
Figura 18 –	Mapa de classificação do Uso e Ocupação da área de Mata Ciliar ...	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Faixas marginais mínima de preservação.....	19
Tabela 2 –	Números de <i>pixels</i> coletados de cada amostra.....	36
Tabela 3 –	Matriz de classificação da imagem com as porcentagens das 5 classes	37
Tabela 4 –	Extratificação das classes de uso e ocupação do solo do município de Alto Paraíso	41
Tabela 5 –	Extratificação das classes de uso e ocupação do solo a área de mata ciliar do Município de Alto Paraíso	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APP – Área de Preservação Permanente
- CAR – Cadastro Ambiental Rural
- CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
- DPI – Divisão de Processamento de Imagem
- GDAL – *Geospatial Data Abstraction Library*
- GPS – Sistema de Posicionamento Global
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MAXVER – Máxima Verossimilhança
- MDT – Modelo Digital de Terreno
- MMA – Ministério Meio Ambiente
- NUAR – Núcleo Urbano de Apoio Rural
- OLI – Sensor Operacional Terra Imager
- PAD – Projeto Assentamento Direcionado
- PDI – Processamento Digital de Imagem
- PIXEL – Elemento de Imagem
- QGIS – Quantum Gis
- RADAR – *Radio Detection and Ranging*
- REM – Radiação Eletromagnética
- RL – Reserva Legal
- SEDAM – Secretária de Estado de Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia
- SEMA-PR – Secretária de Meio Ambiente do Estado do Paraná.
- SICAR – Sistema de Cadastro Ambiental Rural
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
- SR – Sensoriamento Remoto
- SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*
- TIRS – *Thematic Sensor Infravermelho*
- UTM – *Universal Transverse Mercator*
- WWF – *World Wide Fund for Nature*

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Localização e área de estudo	15
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo Geral	17
1.2.2. Objetivo Específico	16
1.3. Justificativa	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Área de preservação permanente (APP)	18
2.1.1 Mata Ciliar	18
2.2. Geotecnologias	22
2.2.1. Sensoriamento Remoto	23
2.2.1.1. Sensores Remotos	25
2.2.2. Processamento Digital de Imagens (PDI)	26
2.2.3. Cartografia Digital	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. Material	31
3.2. Metodologia	31
3.2.1. Padronização dos dados vetoriais e matriciais	32
3.2.2. Elaboração dos mapas e banco de dados	32
3.2.2.1. Extração da rede de drenagem e hierarquização dos rios	32
3.2.2.2. Delimitação da área de mata ciliar	34
3.2.2.3. Classificação de Imagem	35
4.1. Delimitação e Quantificação da Mata Ciliar	39
5. CONCLUSÕES	46
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

O Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651 de 25 de Maio de 2012) coloca como obrigatório a preservação da mata ciliar, esta variando de tamanho dependendo da largura do rio, lagos, represas e nascentes. Tal código apresentou uma série de mudanças referente à preservação das matas ciliares, alterando principalmente a respeito da largura das faixas a serem preservadas no contorno dos recursos hídricos e a introdução de essências florestais na recomposição das áreas antropizadas.

Mesmo sabendo da importância em preservar as matas ciliares, o homem faz intervenções abruptas nestas áreas que são submetidas à intensa degradação devido às pressões antrópicas sobre o ambiente.

As matas ciliares são “as áreas vegetadas no entorno dos rios [...], e são fundamentais para proteção dos recursos hídricos, integridade ecológica nas áreas de várzea, além de funcionarem como corredor ecológico para a fauna e flora (Paula Lima & Zákia, 2000 *apud* BELLUTA, *et al*, 2011, p. 178

A região objeto da pesquisa iniciou a supressão das matas ciliares no final da década de 70, quando o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) implantou o Projeto de Assentamento Direcionado (PAD) Marechal Dutra e assentou os primeiros agricultores.

Desde então, os beneficiários da reforma agrária passaram a explorar suas parcelas de terra e raramente respeitando as exigências impostas na legislação referente à preservação de Áreas de Preservação Permanente.

Concomitantemente a reforma agrária, a indústria madeireira se instalou na região, praticando a exploração desordenada e clandestina das florestas contribuindo veementemente para a destruição das matas ciliares. Também se pode atribuir uma parcela considerável de destruição a extração de minério na região.

Com o advento da evolução tecnológica e a expansão das técnicas envolvendo geotecnologias, as Áreas de Preservação Permanente (APP), entre elas as matas ciliares, passaram a receber tratamentos sofisticados com mecanismos que proporcionam o monitoramento, a obtenção de dados para tomada de decisão e a eficiência na fiscalização destas áreas remotamente.

Assim, conforme Veloso, et al. (2010) explica, as geotecnologias representam valiosas ferramentas na preservação das matas ciliares. Destacando entre as ferramentas o sensoriamento remoto, pois ele possibilita identificar e monitorar estas áreas à distância, melhorando a eficácia da fiscalização ambiental e facilitando na implantação de projetos de recuperação destas áreas. Ele destaca ainda que a “geotecnologia pode ser usada como instrumento que facilita a análise de uso do solo e consumo dos recursos hídricos, o que poderá ser usado pelo poder público na tomada de decisões sobre a gestão dos recursos ambientais.” (VELOSO, et al. 2010, p.11).

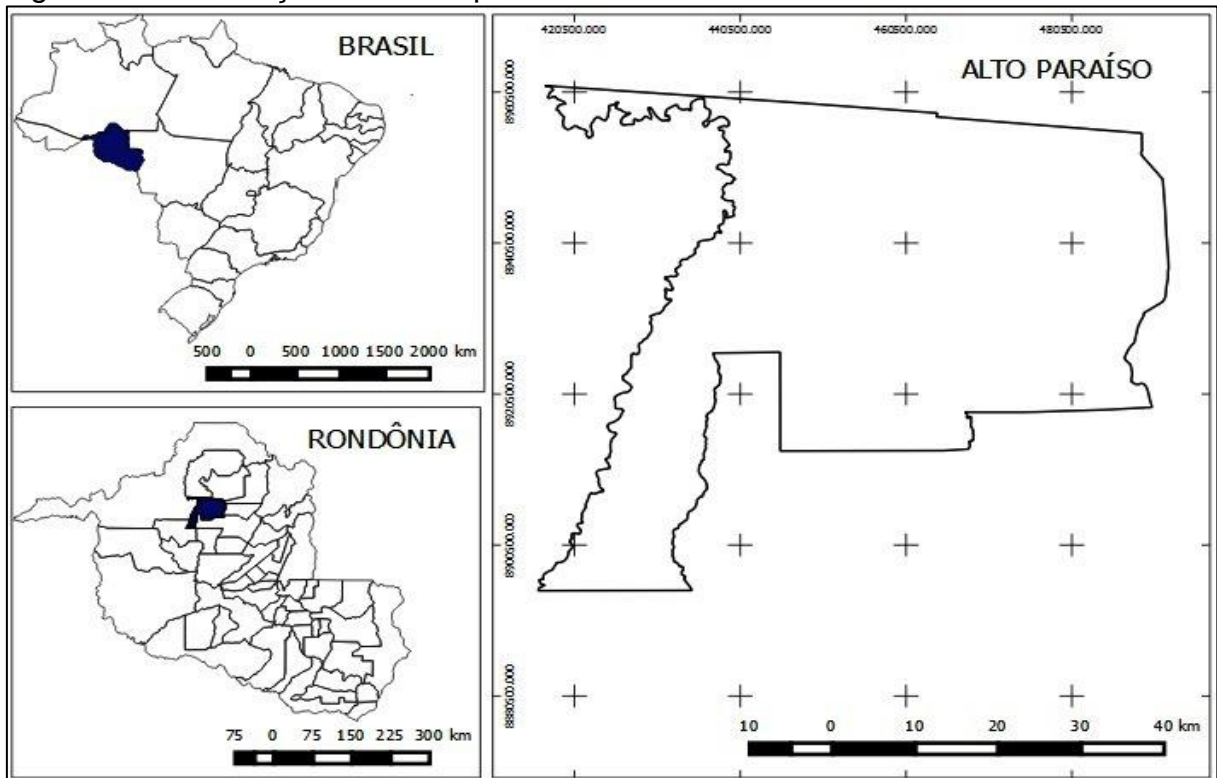
Confirmando o exposto acima (ROSENDO, 2005 *apud* GONÇALVES; FRANCISCO; NETO, 2012, p. 10), diz, “a utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais têm se tornado uma prática frequente e contribuem de modo expressivo com rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação”.

Sendo assim, ao término deste trabalho os resultados provenientes do mesmo, poderão contribuir nas ações de planejamento e gestão por parte dos gestores ambientais nas esferas estaduais e municipais nas ações educativas, fiscalizadoras e de reparação dos danos ambientais.

1.1. Localização e área de estudo

O município de Alto Paraíso está localizado no estado de Rondônia, mais precisamente no Território Vale do Jamari. Nesta região, a principal cidade é Ariquemes, que influencia em todos os setores dos municípios integrantes do território.

Figura 1 – Localização do Município de Alto Paraíso.



Fonte: IBGE adaptado pelo Autor.

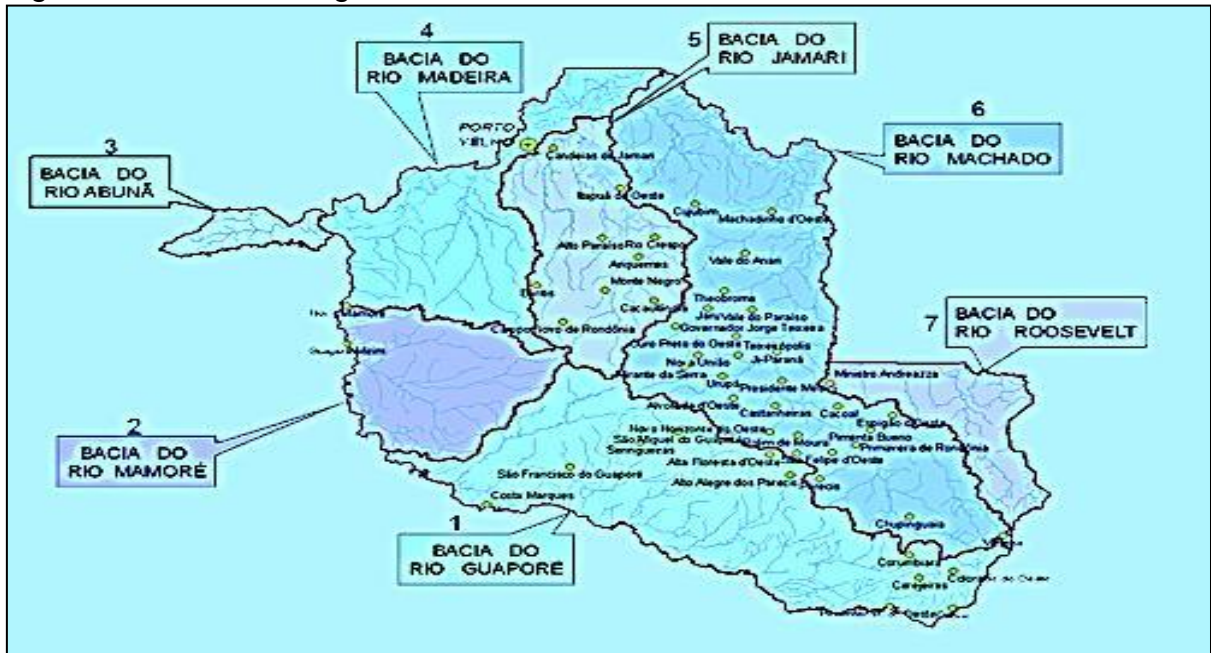
O município de Alto Paraíso surgiu como Núcleo Urbano de Apoio Rural (NUAR) do Projeto de Assentamento PAD Marechal Dutra. O município se estende por 2.651,8 km² e possui uma população de aproximadamente 17.144 habitantes no último censo, realizado pelo IBGE. A densidade demográfica é de 6,5 habitantes por km² no território do município. Localizado nas coordenadas geográficas; Latitude: S 09° 44' 43" Longitude: W 63° 17' 00" e altitude média de 143 metros.

A economia do município de Alto Paraíso se alicerça na pecuária de leite e corte, no cultivo de café e soja e na indústria madeireira.

A hidrografia do município é constituída por diversos rios pertencentes à Bacia do Rio Jamari, entre eles o rio Massangana, rio Formiga, rio Taboca, rio Santa Cruz, rio Jatuarana, rio do Velho, rio Candeias, na divisa com o município de Porto

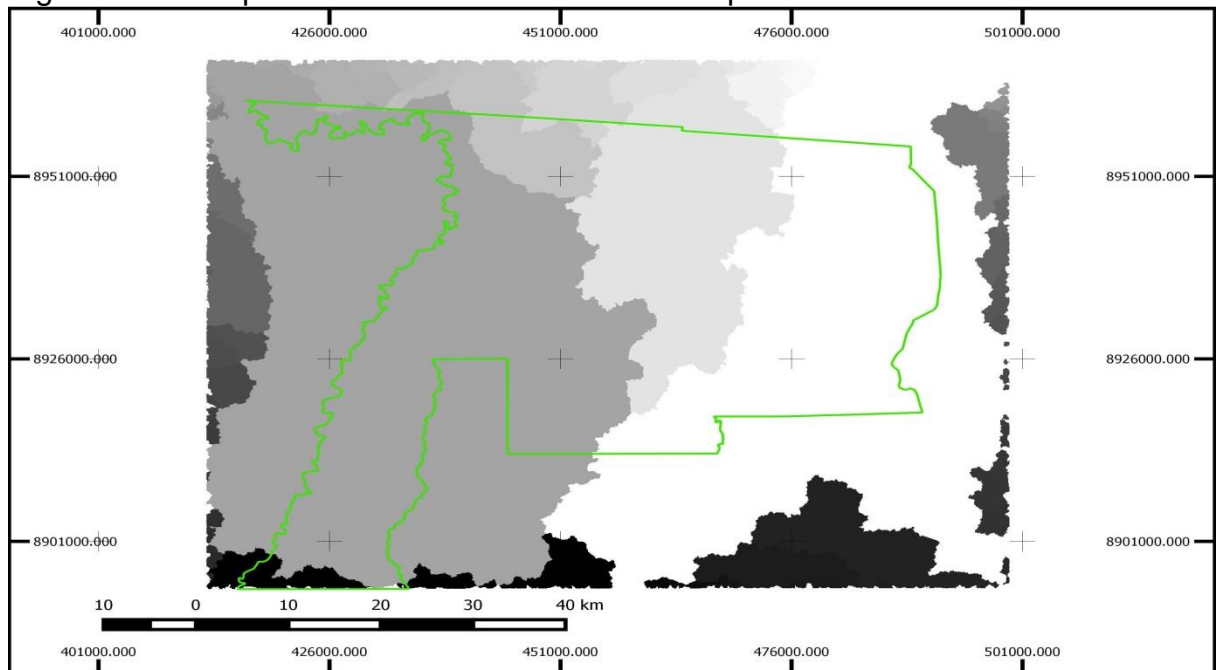
Velho e rio Jamari, importante rio que forma o lago utilizado pela Usina Hidrelétrica de Samuel, que por sua vez é a maior fonte de energia elétrica consumida no estado de Rondônia. A Figura 08 apresenta as bacias hidrográficas do estado de Rondônia e a Figura 09 mostra os principais rios e as microbacias do município de Alto Paraíso.

Figura 2 – Bacias hidrográficas do Estado de Rondônia.



Fonte: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM.

Figura 3 – Principais Rios e Microbacias do Município de Alto Paraíso.



Fonte: IBGE e Imagem SRTM obtidas U.S. Geological Survey (USGS) adaptado pelo autor.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar as técnicas de geotecnologias e sua utilização como ferramenta de auxílio na recuperação das matas ciliares dos principais rios de Alto Paraíso.

1.2.2. Objetivos Específicos

Identificar, mensurar e classificar o uso e ocupação do solo das áreas de matas ciliares dos principais rios do município de Alto Paraíso.

Mostrar a utilização da geotecnologia como ferramenta de auxílio na recuperação de matas ciliares.

Analisar a situação das matas ciliares dos principais rios do município de Alto Paraíso em relação aos parâmetros do Novo Código Florestal.

1.3. Justificativa

Observa-se, que com a ocupação desordenada das parcelas de terras, para a exploração agrícola e pecuária e pela ação do setor madeireiro, as matas ciliares foram comprometidas, o que ocasionou a supressão florestal nestas áreas.

Logo, faz se necessário a delimitação das áreas de matas ciliares e a confrontação com as quantidades antropizadas. Diante disso, a gestão pública terá subsídio para executar a legislação vigente, melhorar a fiscalização e implementar ações mitigadoras nestas áreas.

Sendo assim, este trabalho vem ao encontro das exigências impostas pela legislação Ambiental e servirá de instrumento de consulta pelos gestores públicos na tomada de decisão a respeito da instalação de programas/projetos referentes à preservação e recuperação das áreas de mata ciliar dos principais rios do município de Alto Paraíso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Área de preservação permanente (APP)

De acordo com Código Florestal, Lei nº 12.651/12, as Áreas de Preservação Permanente são áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

O Código florestal também “estabelece que quaisquer porções de terra, ainda que localizadas em áreas urbanas ou rurais, se presentes qualquer dos requisitos abaixo estabelecidos, serão consideradas áreas permanentemente preservadas.” (POLÍZIO JÚNIOR. 2012, p.24).

As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular respeitando largura mínima; as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais; as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais; as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica; as encostas ou partes destas com declividade superior a 45%, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; e as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues. (BRASIL, 2012).

Sendo assim, as áreas de Preservação Permanentes se destinam a proteger solos, águas e matas ciliares. Nessas áreas só é possível o desmatamento total ou parcial da vegetação com autorização do governo federal e mesmo assim, quando for para a execução de atividades de utilidade pública ou de interesse social.

2.1.1 Mata Ciliar

As matas Ciliares são constituídas por “florestas, ou outros tipos de cobertura vegetal nativa, que ficam às margens de rios, igarapés, lagos, olhos d'água e represas.” (WWF, 2016). “Também é conhecida como mata de galeria, mata de várzea, vegetação ou floresta ripária.” (SEMA- PR, 2016).

Estas áreas de vegetações assumem grande importância na preservação dos recursos hídricos, solo, flora e fauna, e estas relevâncias são observadas a seguir:

As matas-ciliares apresentam-se como uma barreira física que impede o contato direto do ambiente aquático e terrestre e sua presença reduz em grande parte a possibilidade de contaminação dos cursos d'água por sedimentos, resíduos de adubos, defensivos agrícolas, conduzidos pelo escoamento na superfície. Esse tipo de vegetação, além de reduzir o escoamento superficial, também reduz os processos erosivos das margens, evitando uma grande degradação do curso d'água e ainda os troncos retardam o fluxo, aumentando a infiltração e trazendo equilíbrio na entrada deste nos solos. (LUIZ, *et al.* 2009, p. 2811).

As matas ciliares, “em muitos casos, se constituíram nos únicos remanescentes florestais das propriedades rurais [...]. Estas peculiaridades conferem às matas ciliares um grande aparato de leis, decretos e resoluções visando sua preservação” (ÁRVORES BRASIL, 2016).

Ratificando a necessidade de preservação das áreas de matas ciliares (Zanzarini, 2007 *apud* VELOSO, *et al.* 2010) elucida que essa vegetação tem função básica para o meio terrestre e aquático, pois exerce importante ação na geração do escoamento da bacia, fazendo também a ciclagem de nutrientes, além disso ajuda na filtragem de partículas e nutrientes, tendo uma interação direta com o meio aquático no sombreamento, com isso equilibrando a temperatura dos rios.

Mesmo reconhecida a importância ambiental, “as matas ciliares continuam sendo eliminadas cedendo lugar para a especulação imobiliária, para a agricultura e a pecuária e, na maioria dos casos, sendo transformadas apenas em áreas degradadas.” (ÁRVORES BRASIL, 2016).

De acordo com a (WWF, 2016), as principais causas de supressão das matas ciliares são:

O desmatamento para implantação de pastagem em razão da maior umidade das várzeas e beira de rios permite melhor desenvolvimento de pastagens na estação da seca; o desmatamento para que os igarapés aumentem a produção de água no período de estiagem. Esta realidade deve-se ao fato de as árvores deixarem de “bombear” água usada na transpiração das plantas. Contudo, pesquisas mostram que esta prática, com o tempo, tem efeito contrário, pois com a ausência da mata ciliar ocorre um rebaixamento do nível do lençol freático (de água); e as queimadas, utilizadas como prática agropecuária para renovação de pastagens ou limpeza da terra.

Luiz *et al.* (2009) complementa que a degradação ocorre principalmente por agropecuaristas e madeireiros, o primeiro utilizando a água para irrigar as culturas,

liberar acesso à água para o gado, implantar pastagens e atividade piscícola, o segundo, na extração econômica de madeira de forma desordenada, eliminando as principais espécies de essências florestais.

As consequências da degradação das áreas ciliares são aparentes, causando a redução do volume de água e comprometendo a sua qualidade, proporcionando a erosão e perda de nutrientes do solo, ocasionando o assoreamento dos rios e, por conseguinte as enchentes, alterações e desequilíbrios climáticos (chuva e aumento da temperatura) e redução da fauna aquática.

O código Florestal estabelece as faixas marginais mínimas de preservação das matas ciliares, levando em consideração as dimensões dos cursos d'água, lagos e lagoas, conforme especificado no Quadro 01 e ilustrado na Figura 01.

Tabela 1: Faixas marginais mínima de preservação.

Fonte	Largura	Faixa Marginal
Curso d'água natural perene e intermitente	Até 10 metros	30 metros
	10 – 50 metros	50 metros
	50 – 200 metros	100 metros
	200 – 600 metros	200 metros
	Superior a 600 metros	500 metros
Lagos e lagoas naturais	Até 20 hectares	50 metros (área rural)
		30 metros (área urbana)
	Acima 20 hectares	50 metros (área rural)
		30 metros (área urbana)

Fonte: Lei nº 12.651/12 adaptada pelo Autor.

Figura 4 – Representação das faixas marginais de matas ciliares em cursos d'água.



Fonte: www.alexandergomes.com.br

Uma mudança que o código florestal em vigor trouxe em relação ao anterior foi referente à compensação florestal das matas ciliares. No código antigo, as faixas marginais que deveriam ser recuperadas e as a preservar respeitavam limites fixos, levando em consideração somente a largura dos cursos d'água. Já o novo Código Florestal conforme explica Polízio Júnior (2012).

Estabelece uma medida única para a recomposição marginal do curso d'água, que não varia conforme o tamanho do leito, mas sim que depende do tamanho da área ribeirinha. Deste modo, se a área que margeia o curso d'água não for superior a um módulo fiscal, e houver área consolidada, é obrigatória a recomposição de cinco metros, a partir da margem regular. [...] se a área que margeia o curso d'água não for superior a dois módulos fiscais, mas for maior que um módulo, e houver área consolidada, é obrigatória a recomposição de oito metros, [...] se a área que margeia o curso d'água não for superior a quatro módulos fiscais, mas for maior que dois módulos, e houver área consolidada, é obrigatória a recomposição de 15 metros, [...]. Se a área que margeia o curso d'água for maior que quatro módulos fiscais, a recomposição deverá ser de metade da largura do curso d'água, sendo que o mínimo a ser recomposto é de 20 metros e o máximo 100 metros. (POLÍZIO JÚNIOR, 2012, p.196).

O inciso 5º e 6º do Art. 61-A da Lei nº 12.651/12 apresenta as atividades que podem ser mantidas nas áreas rurais consolidadas em Áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes, olhos d'água perenes, lagos e lagoas naturais, que são: as atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, desde que ocorra a recomposição mínima exigida.

Outra medida imposta no novo Código Florestal foi a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), que externa o objetivo de ser uma ferramenta essencial para colaborar no processo de regularização ambiental de propriedades e posses rurais.

Conforme (MMA, 2016) o Cadastro Ambiental Rural,

Consiste no levantamento de informações georreferenciadas do imóvel, com delimitação das Áreas de Proteção Permanente (APP), Reserva Legal (RL), remanescentes de vegetação nativa, área rural consolidada, áreas de interesse social e de utilidade pública, com o objetivo de traçar um mapa digital a partir do qual são calculados os valores das áreas para diagnóstico ambiental.

As informações obtidas no CAR são inseridas no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), este sistema foi criado através do Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, e conforme o Art. 3º do decreto, o SICAR é responsável em:

I - receber, gerenciar e integrar os dados do CAR de todos os entes federativos; II - cadastrar e controlar as informações dos imóveis rurais, referentes a seu perímetro e localização, aos remanescentes de vegetação nativa, às áreas de interesse social, às áreas de utilidade pública, às Áreas de Preservação Permanente, às Áreas de Uso Restrito, às áreas consolidadas e às Reservas Legais; III - monitorar a manutenção, a recomposição, a regeneração, a compensação e a supressão da vegetação nativa e da cobertura vegetal nas áreas de Preservação Permanente, de Uso Restrito, e de Reserva Legal, no interior dos imóveis rurais; IV - promover o planejamento ambiental e econômico do uso do solo e conservação ambiental no território nacional; e V - disponibilizar informações de natureza pública sobre a regularização ambiental dos imóveis rurais em território nacional, na Internet.

Deste modo, as situações das matas ciliares das propriedades rurais deverão ser retratadas no CAR para fins de monitoramento. Caso haja supressão florestal destas áreas, serão adotadas técnicas de conservação do solo e da água que visem à mitigação dos eventuais impactos.

2.2. Geotecnologias

As geotecnologias podem ser descritas como o conjunto de tecnologias que envolvem a coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com uma posição definida no espaço, ou seja, com referência geográfica. Dentre as geotecnologias estão o Sistema de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global (GPS), Aerofotogrametria, Geodésia e Topografia, dentre outros (FAVRIN, 2009 apud NASCIMENTO; ABREU, 2010).

Em Veloso et al. (2010), a Geotecnologia foi descrita como instrumento que facilita a análise de uso do solo e consumo dos recursos hídricos, servindo de ferramenta que poderá ser usada pelo poder público na tomada de decisões sobre a gestão dos recursos ambientais.

O entorno das geotecnologias é muito mais amplo do que se estabelece, não somente como mero instrumental para mapeamentos, localizações pontuais e outros, mas sim como um conjunto de fatores que levam a resultados almejados por diferentes profissionais. A aplicação das geotecnologias tanto no espaço urbano quanto rural, passa a ser um meio de controle, conhecimento e coerência em relação ao uso e ocupação da terra, tendo em vista a necessidade de planejamento,

seja ele ambiental, urbano, agricultura entre outros (CASTANHO; TEODORO, 2010 apud NASCIMENTO; ABREU, 2010).

Dentre os trabalhos que utilizaram as ferramentas de Geotecnologia para levantamento e quantificação das matas ciliares de determinada região, pode-se citar Veloso et al. (2010), que sugeriu a aplicação da geotecnologia no estudo da preservação/supressão da mata ciliar na bacia do Rio Riachão em Minas Gerais. Como produto da utilização da geotecnologia obteve-se um mapa de utilização do solo e foi possível apresentar tabelas de áreas de uso da terra. Neste estudo foi utilizado o método da classificação de imagens utilizando o Software Spring 4.3.

Já Vasconcellos (2002) utilizando o geoprocessamento de imagem mapeou as áreas de Preservação Permanentes e as quantificou em seu trabalho de pesquisa intitulado, Uso do Geoprocessamento para a Quantificação de Fragmentos Naturais e Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente em Unidades De Conservação - Estudo de Caso da Mata Escura.

2.2.1. Sensoriamento Remoto

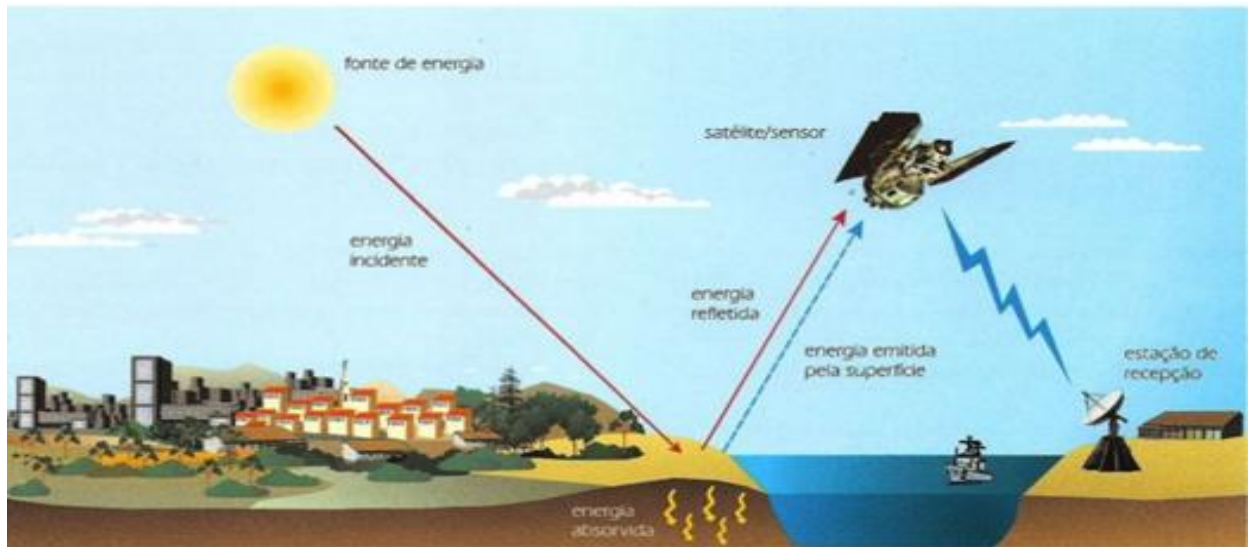
Conforme definição de (FLORENZANO, 2001, p. 9), “o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.”.

Complementando o conceito acima, Paulo Roberto Fitz (2010, p.98) diz que, sensoriamento remoto é “a técnica que utiliza sensores para a captação e registro à distância, sem o contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre.” O autor continua fazendo referências aos sensores apresentando-os,

Como dispositivos capazes de captar a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer e registrá-la na forma de dados digitais diversos (imagens, gráficos, dados numéricos e etc.). Estes, por sua vez passíveis de serem armazenados, manipulados e analisados por meio de *software* específicos. (FITZ, 2010, p. 98).

A figura abaixo ilustra os conceitos acima apresentados, mostrando que a luz solar incide na superfície terrestre e é refletida em direção ao sensor que a capta e registra-a (FLORENZANO, 2011).

Figura 5 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.

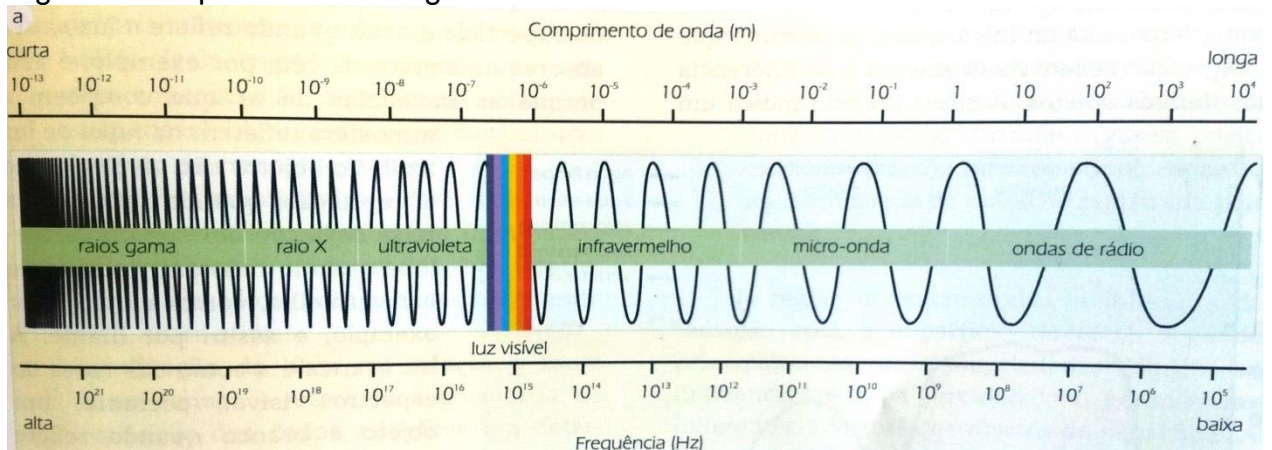


Fonte: Florenzano, (2010)

Como explica (FLORENZANO, 2011), a obtenção de dados por sensoriamento remoto necessita do uso de energia. Esta energia pode ser proveniente de uma fonte natural, exemplo o sol, ou pode ser uma fonte artificial, como os sinais produzidos pelo *Radio Detection and Ranging* (RADAR). No sensoriamento remoto a energia utilizada é a Radiação Eletromagnética (REM), que se propaga em forma de ondas com a velocidade da luz. Essa energia é quantificada em frequência em unidades de hertz (Hz) e seus múltiplos e em comprimento de onda em unidade de metros e seus submúltiplos.

O conjunto de comprimentos de onda e frequência que compõem a REM é conhecido como espectro eletromagnético, o qual é dividido didaticamente em certo número de regiões espectrais, conforme apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Espectro Eletromagnético.



Fonte: Florenzano, (2010)

Como observado na Figura 6, as principais faixas definidas dentro do espectro eletromagnético são conhecidas por: *faixa das ondas de rádio e TV*, que possuem comprimento de ondas variando de 30 cm até vários quilômetros; *faixa das micro-ondas* - situam-se na faixa de 1,0 mm a 30 cm e são pouco afetadas pela atmosfera, ideais para sensores como o radar; *faixa do infravermelho* - estas ondas estão associadas ao calor e é bastante utilizada em trabalhos de sensoriamento remoto. Dividem-se em infravermelho próximo, médio ou termal e distante, e estão situadas entre os comprimentos de onda de 0,7 μm a 1,0 mm; *faixa do visível* – sua principal característica e abranger os comprimentos de ondas capazes de serem percebidas pelo olho humano. Deste modo, ela é a mais utilizada no sensoriamento remoto dentre as faixas do espectro eletromagnético. Possui comprimento de onda entre 0,38 μm e 0,74 μm , (Violeta: 0,380 μm a 0,440 μm , Azul: 0,440 μm a 0,485 μm , Ciano: 0,485 μm a 0,500 μm , Verde: 0,500 μm a 0,565 μm , Amarelo: 0,565 μm a 0,590 μm , Laranja: 0,590 μm a 0,625 μm e Vermelho: 0,625 μm a 0,740 μm); *faixa do ultravioleta* – pouco utilizada no sensoriamento remoto e esta situada no espectro eletromagnético entre 100 μm a 400 μm ; *faixa do Raio X* – tem sua utilização basicamente na área da saúde e está compreendida nos comprimentos de ondas de 0,05 μm a 0,01 μm ; *faixa dos Raios Gama* – é o menor tamanho de onda de todo o espectro eletromagnético, com ondas entre 1 pm a 0,01 μm (FITZ, 2010).

Florenzano (2010), explica que os objetos da superfície terrestre refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em intensidades que variam com o comprimento da onda, conforme as características biofísicas e químicas do objeto. E em virtude dessas oscilações é possível identificar os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos. Os objetos nessas imagens são representados em variações de preto e branco, onde branco figura uma grande quantidade de energia refletida e o preto pouca energia refletida.

2.2.1.1. Sensores Remotos

Segundo Fitz (2010) existem dois tipos de classificação dos sensores, primeiramente relacionados à fonte de energia e depois em função do produto gerado.

Relacionado à fonte de energia são classificados em *ativos* e *passivos*. Os sensores ativos são sensores que detém fonte de energia própria, ou seja, eles mesmos emitem uma porção de energia suficiente na direção do alvo para capturar a sua reflexão. Um exemplo deste tipo de sensor é o radar. Já os sensores passivos, não possuem energia própria e depende exclusivamente de fontes externas para a captação da reflexão dos alvos, como a energia solar.

Em função do produto gerado são classificados em não imageadores e imageadores. Os não imageadores apresentam os dados coletados no formato de gráficos e dados digitais diversos. Os imageadores traduzem as informações coletadas na forma de imagem, parecida com uma fotografia e possuem a capacidade de capturar imagem de determinada região imediatamente em quadros ou por varredura.

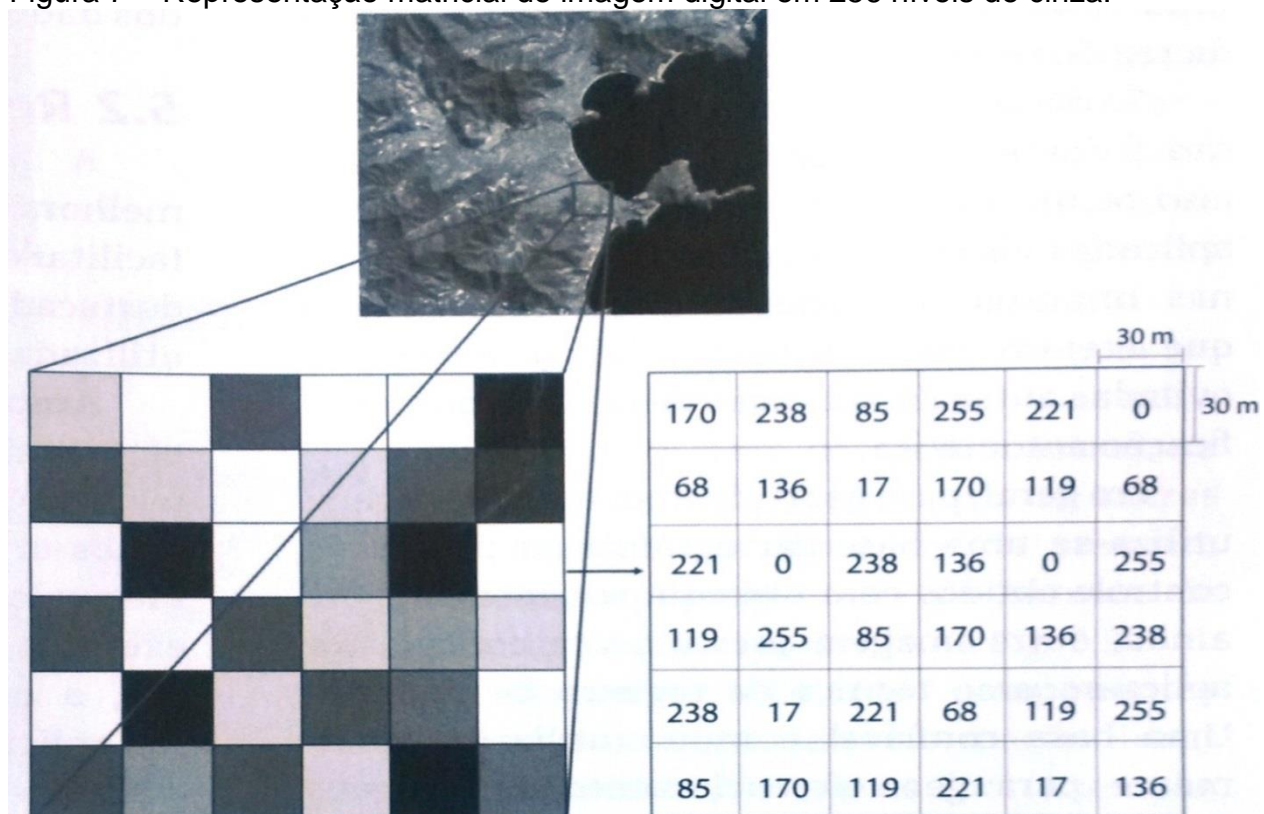
Outra informação importantíssima relacionada aos sensores remotos refere-se a sua resolução. (FLORENZANO, 2010) descreve as quatro classificações sobre a resolução dos sensores. Iniciando pela Resolução Espacial, que está relacionada à capacidade que o sensor possui para discriminar objetos em função do tamanho deste; a Resolução Espectral, pertinente à capacidade que o sensor possui para distinguir objetos em função da sua sensibilidade espectral, para esta quanto mais estreita for à faixa espectral da qual um sensor capta dados, maior é a possibilidade de registrar oscilações de energia refletida pelo objeto; a Resolução Radiométrica alude à capacidade de o sensor diferenciar a intensidade de energia refletida ou emitida pelos objetos; e a Resolução Temporal que se refere à constância de imageamento sobre a mesma área.

2.2.2. Processamento Digital de Imagens (PDI).

O Processamento Digital de Imagens compreende o manejo de uma imagem por *softwares* especializados, de modo que, a entrada e a saída do processo sejam imagens, objetivando melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para a análise e assim fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (PUC-RIO, 2016).

As imagens obtidas mediante os sensores remotos são representadas em valores matriciais, correspondentes à intensidade de energia refletida ou emitida pelos objetos da superfície (Florenzano, 2010). A Figura 7 elucida o exposto.

Figura 7 – Representação matricial de imagem digital em 256 níveis de cinza.



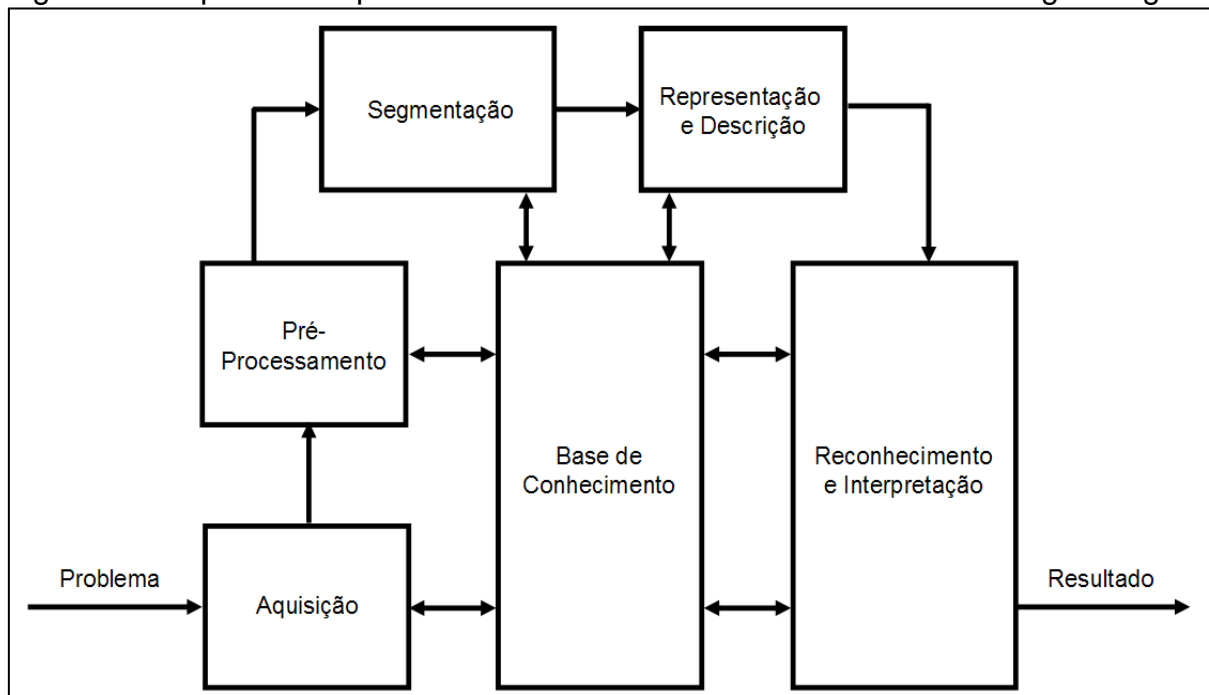
Fonte: Teresa Galotti Florenzano adaptado de CCRS/CCT.

O valor numérico de cada célula ou *pixel* representa uma intensidade de energia e um nível de cinza. Quanto maior a intensidade de energia maior será o valor numérico do *pixel*, partindo do mais escuro para o mais claro, onde 0 é preto e 255 é branco.

As técnicas de PDI podem ser agrupadas em três conjuntos: o *pré-processamento* - cuida do tratamento inicial dos dados brutos, com o quesito de calibrar a radiometria da imagem, diminuir os efeitos da atmosfera, eliminar os ruídos e corrigir suas distorções geométricas por meio de georreferenciamento; o *realce de imagens* – esta técnica possui a finalidade de melhorar a qualidade visual das imagens e favorecer o trabalho de interpretação. No processo de realce são utilizadas as técnicas de ampliação linear de contraste para destacar os objetos e feições, as operações aritméticas de adição, subtração, multiplicação e divisão de

imagens, a transformação por componentes principais, a transformação por IHS, a filtragem espacial, a geração de composição coloridas e a integração de dados; a *classificação de imagens* - busca o reconhecimento automático de objetos, em função de parâmetros estabelecidos de decisão, selecionando em classes os objetos que apresentam as características semelhantes em suas respostas espectrais. Vale lembrar que antes de proceder à técnica de realce é necessária a utilização da segmentação, que consiste no procedimento realizado através de computador antes da aplicação de um algoritmo de classificação automática (FLORENZANO, 2010). A Figura 8 mostra o esquema dos passos fundamentais no processamento de imagens digitais.

Figura 8 - Esquema dos passos fundamentais de Processamento de Imagem Digital



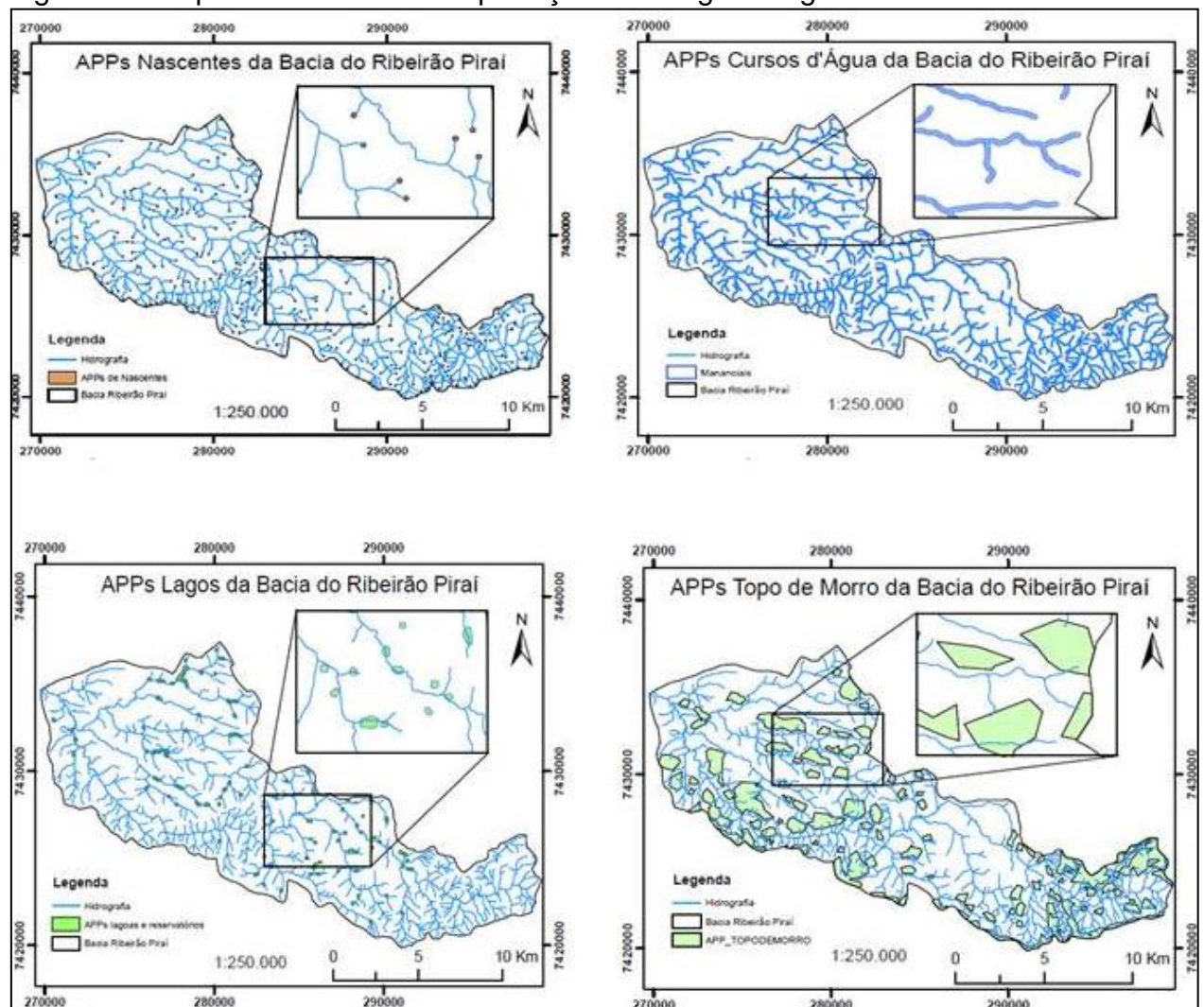
Fonte: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0711323_09_cap_02.pdf

Bittencourt, Batista e Catelani (2006) utilizando imagem do satélite CBERS e processando-as, através do software SPRING, geraram mapas da cobertura vegetal natural e do uso da terra das margens do rio Paraíba do Sul, no município de Caçapava. E através da interpretação foi possível verificar que a área de estudo encontrava-se predominantemente ocupada por pastagens, representando 40,6% da área. Seguido pelas culturas agrícolas, que ocupavam 27,5% da área. A área ocupada por culturas perenes era de apenas 0,97% da área. A área ocupada por

cavas de areias inativas era de 5,8% e, ativas era de 11,6%. A vegetação natural, representada pela mata ciliar, cobria uma área de apenas 11,3 % da área em estudo, quando deveria ocupar 100% do total.

Na pesquisa desenvolvida por (RAUEN, 2011), na bacia do Ribeirão Pirai, foi possível extrair através da interpretação de imagens digitais as categorias de Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água, ao redor de nascentes e ao redor de lagos e reservatórios artificiais, rurais e urbanos e em topos de morro e montanhas, apresentando estas informações mediante mapas, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Mapas oriundos da interpretação de Imagens Digitais.



Fonte: Vanessa Amadi Barros Rauem (2010) adaptado pelo Autor.

2.2.3. Cartografia Digital

Para iniciar os trabalhos que envolvem geotecnologias, é preciso compreender algumas técnicas específicas. Uma delas diz respeito ao uso de bases cartográficas confiáveis, que estão atreladas diretamente à compreensão de quesitos básicos para essa forma de representação do mundo real (FITZ, 2010).

Para iniciar o processo de interpretação de imagem, alguns conceitos básicos relacionados às imagens obtidas de sensores remotos e a cartografia são necessários entender, dentre estes conceitos tem-se: visão vertical, visto do alto, de cima para baixo; visão oblíqua, visto de cima e um pouco de lado; imagens em 3D e estereoscopia, permite perceber a altura, comprimento e largura do objeto proporcionando a sensação de volume e profundidade; escala, refere-se a razão ou proporção existente entre um objeto ou uma área real e sua representação em uma imagem de satélite ou mapa; e legenda que explica o significado dos símbolos e das cores de um mapa (FLORENZANO, 2010).

Outro fator importante sobre a cartografia digital está relacionado ao tipo de projeção cartográfica a ser utilizada na confecção dos mapas. Florenzano (2010) explica que,

Na elaboração de um mapa, é utilizado um dos sistemas de projeção cartográfica existentes: plana (ou azimutal), cilíndrica, cônica ou poliédrica. Esses sistemas permitem fazer uma representação aproximada da superfície da Terra (um geóide irregular), uma vez que não é possível passar de uma superfície curva para uma plana sem ter deformação. Quanto ao grau de deformação das superfícies representadas, as projeções podem ser classificadas em conformes ou isogonais (mantêm os ângulos ou as formas de pequenas feições), equivalentes ou isométricas (preserva a área) e equidistantes (preservam a proporção entre as distâncias) (FLORENZANO, 2010, p. 42).

No Brasil, a projeção mais utilizada nos trabalhos de mapeamento através das geotecnologias é a *Universal Transverse Mercator* – UTM, ela é conforme e sua superfície de projeção é um cilindro transversal. Na projeção UTM a Terra é dividida em 60 fusos de 6° de longitude.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material

Na realização do presente estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagem de Satélite - LANDSAT 8 - sensores Operacional Terra Imager (OLI) e Térmica Sensor Infravermelho (TIRS), de órbita 232 e ponto 67, com resolução espacial de 30m, 16 bits por píxel, obtida em 16 de junho de 2016, obtida gratuitamente pelo site *U.S. Geological Survey (Earth Explore)* <http://earthexplorer.usgs.gov>.
- Modelo Digital de terreno - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) resolução espacial de 01 arco de segundo (aproximadamente 30m), obtido gratuitamente através do site do *U.S. Geological Survey (Earth Explore)* <http://earthexplorer.usgs.gov>.
- Softwares – Google Earth versão Pro; Quantum Gis (QGIS) versão 2.8.1 – Wien; Spring versão 5.4.1 e Saga versão 2.1.2.

3.2. Metodologia

O método utilizado para realizar o estudo proposto se sustenta nos termos constantes no Código Floresta Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2016, e na utilização de técnicas de geotecnologias para manipulação de dados vetoriais e matriciais, apropriando-se de técnicas de Modelagem Digital de Elevação (MDE), Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para alcançar os objetivos propostos foram utilizados os dados vetoriais de delimitação da área de estudo e a extensão da área de mata ciliar, no formato *shapefile-shape*. Para a produção do MDE, extração da rede de drenagem e definição dos rios, foi utilizado imagem de radar Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e para realizar a classificação do uso do solo foi utilizada a imagem de sensor óptico orbital do satélite Landsat 8.

3.2.1. Padronização dos dados vetoriais e matriciais.

Para proporcionar um resultado satisfatório na manipulação dos dados, primeiramente foi realizada a padronização das informações, tendo em vista, que a obtenção dos dados foi de fontes distintas. Essa padronização foi realizada utilizando o *software* QGIS, onde o sistema de projeção original dos dados foram transformados para a projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM), zona vinte – Sul (20S), *Datum* - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000).

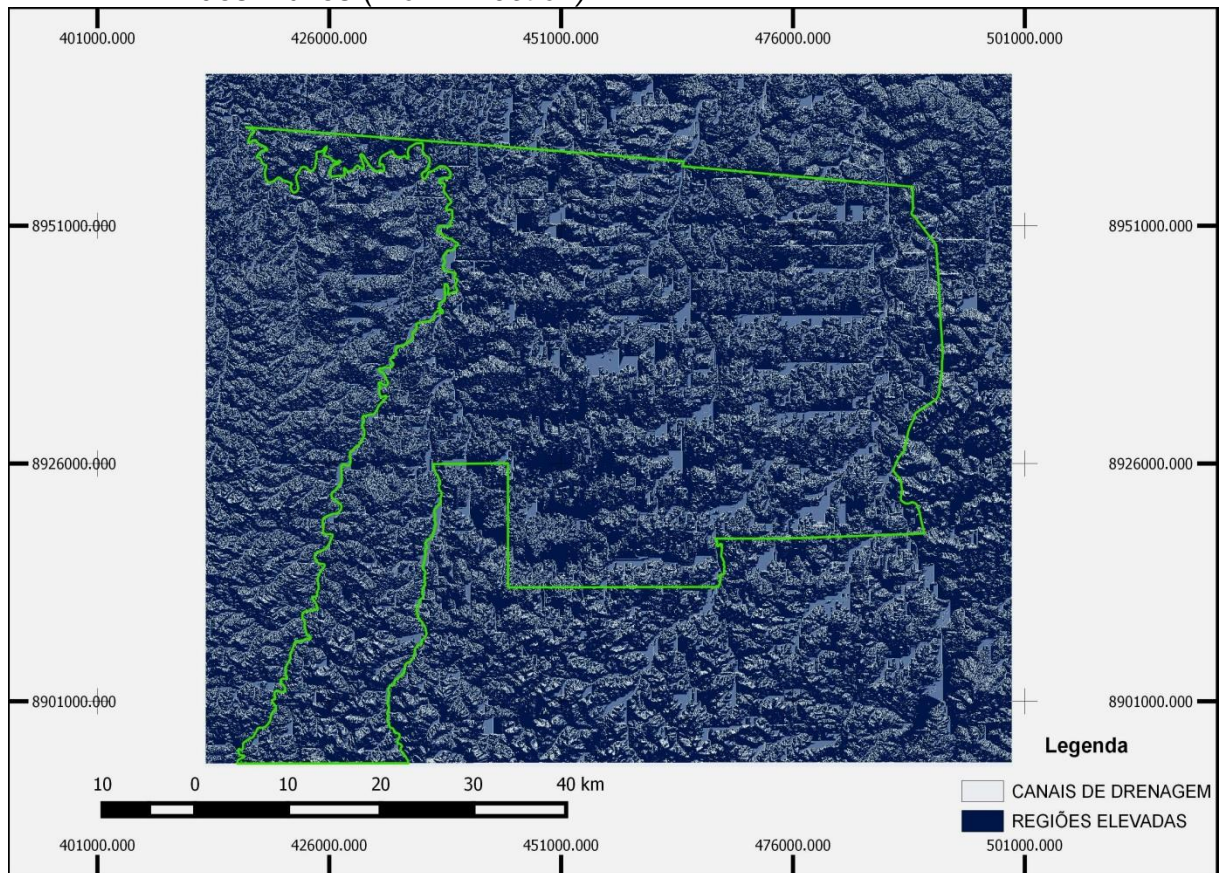
3.2.2. Elaboração dos mapas e banco de dados.

Nesta etapa foi realizado o tratamento das informações obtidas, criando-se o banco de dados e apresentando-as em forma de mapas e quadros.

3.2.2.1. Extração da rede de drenagem e hierarquização dos rios.

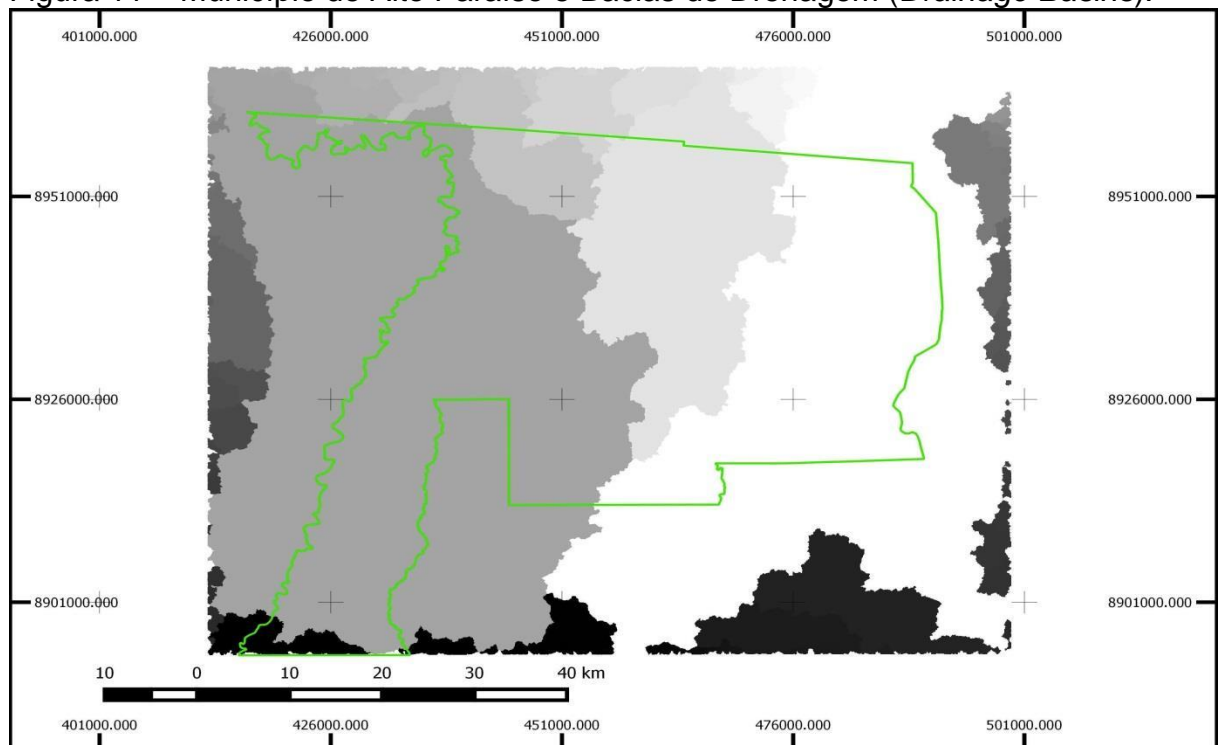
Na extração da rede de drenagem foi utilizado a imagem de radar SRTM de 01 arco de segundo (aproximadamente 30m), e os algoritmos do *software* SAGA versão 2.1.2, que estão integrado ao QGIS. O processamento se iniciou com o preenchimento das depressões da imagem SRTM utilizando o algoritmo *Fill Sinks* (*wang e Liu*), integrante do conjunto de algoritmos da aba *Terrain Analysis – Hidrology*. Em seguida foi realizada a extração dos Canais (*Channels*), Direções dos Fluxos (*Flow Direction*), e as Bacias de Drenagem (*Drainage Basins*) utilizado o algoritmo *Channel Network and Drainage Basins* na aba *Terrain Analysis – Channels* no qual, os resultados do processo são apresentados nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Município de Alto Paraíso, Canais de Drenagem (*Channels*), Direções dos Fluxos (*Flow Direction*).



Fonte: IBGE e Imagem SRTM obtidas U.S. Geological Survey (USGS)

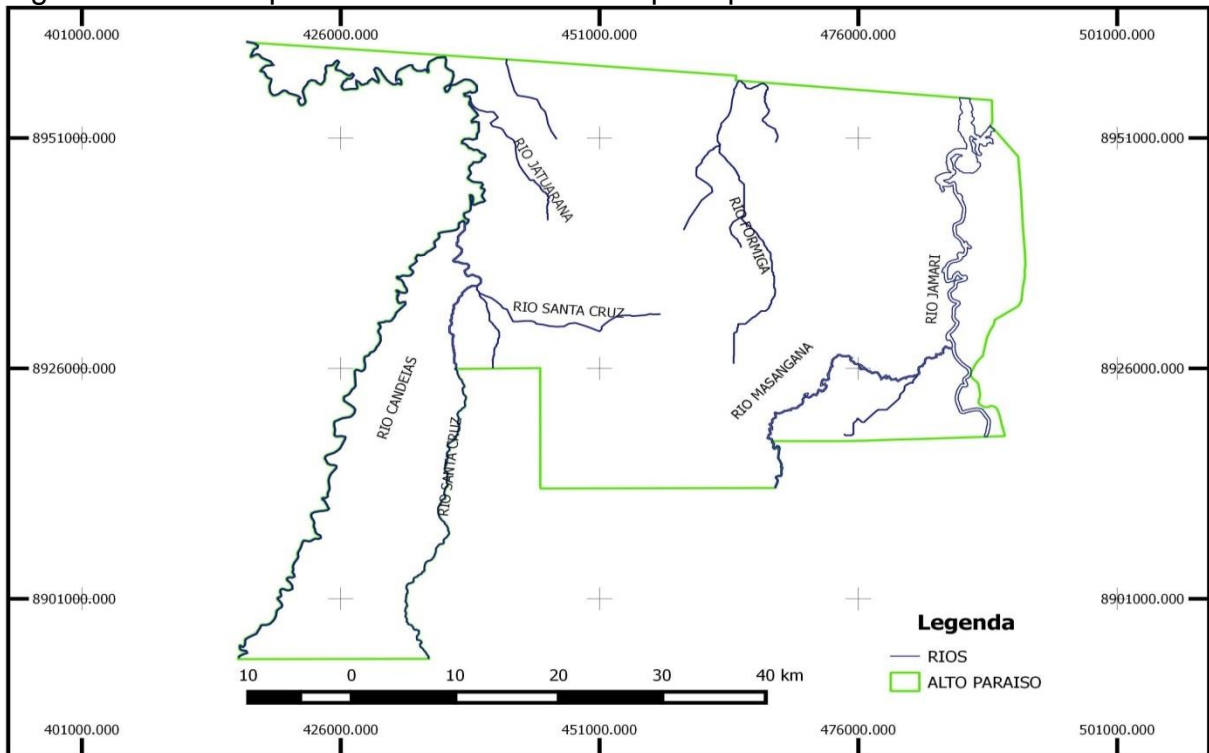
Figura 11 – Município de Alto Paraíso e Bacias de Drenagem (*Drainage Basins*).



Fonte: IBGE e Imagem SRTM obtidas U.S. Geological Survey (USGS) adaptado pelo autor.

Após o término do processo descrito acima foi realizada a manipulação da tabela de atributos gerada na camada vetorial *Channels*, com o intuito de hierarquizar a rede de drenagem, onde foram selecionados somente os canais (rios) de 1ª a 4ª ordem, excluindo-se os demais. O resultado é o abaixo.

Figura 12 – Município de Alto Paraíso e seus principais rios.



Fonte: IBGE adaptado pelo autor.

3.2.2.2. Delimitação da área de mata ciliar.

Para delimitar as áreas de mata ciliar, foi utilizada a ferramenta de régua, do *software* Google Earth, na mensuração da largura dos cursos d'água. E apropriando-se da ferramenta de processamento de dados vetoriais *buffer*, do *software* QGIS, delimitou-se as faixas marginais de preservação.

. O processo seguiu as exigibilidades impostas no código florestal, atentando para a largura de cada curso d'água, fator que determina a largura da faixa de preservação da mata ciliar, conforme já mencionado neste trabalho.

3.2.2.3. Classificação de Imagem.

A classificação de imagem consiste na identificação de determinados elementos presentes nela pela associação de cada um de seus *pixels* a uma determinada classe preestabelecida. (FITZ, 2010).

O processo de classificação se baseia nas informações espectrais da cena escolhida. Esta cena pode ser representada por uma imagem espectral, na qual cada *pixel* tem coordenadas espaciais x, y e uma espectral L, que representa a radiância do alvo em todas as bandas espectrais, ou seja, para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados a cada "pixel" sendo um para cada banda espectral. O conjunto de características espectrais de um "pixel" é denotado pelo termo atributos espectrais. (INPE, 2016).

Os classificadores são divididos em *pixel a pixel* e classificadores por região. No presente estudo adotou-se os classificadores *pixel a pixel*, que utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para achar regiões homogêneas. Estes classificadores podem ser separados em métodos estatísticos, que empregam a teoria de probabilidade e determinísticos que não utilizam probabilidade.

Para proceder a classificação da imagem foi realizada a transformação Radiométrica das bandas obtidas do Satélite Landsat 8 de 16 *bits* para 8 *bits* para que o *software* Spring pudesse realizar o processo. Esta transformação foi realizada no *software* QGIS utilizando a biblioteca geoespacial para tradução de formatos de dados raster *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL). Também no QGIS, realizou-se a transformação do sistema de projeção original das imagens para a projeção UTM, zona vinte sul (20S), *Datum-Sirgas 2000* e procedeu-se ao recorte da imagem delimitando a área de estudo.

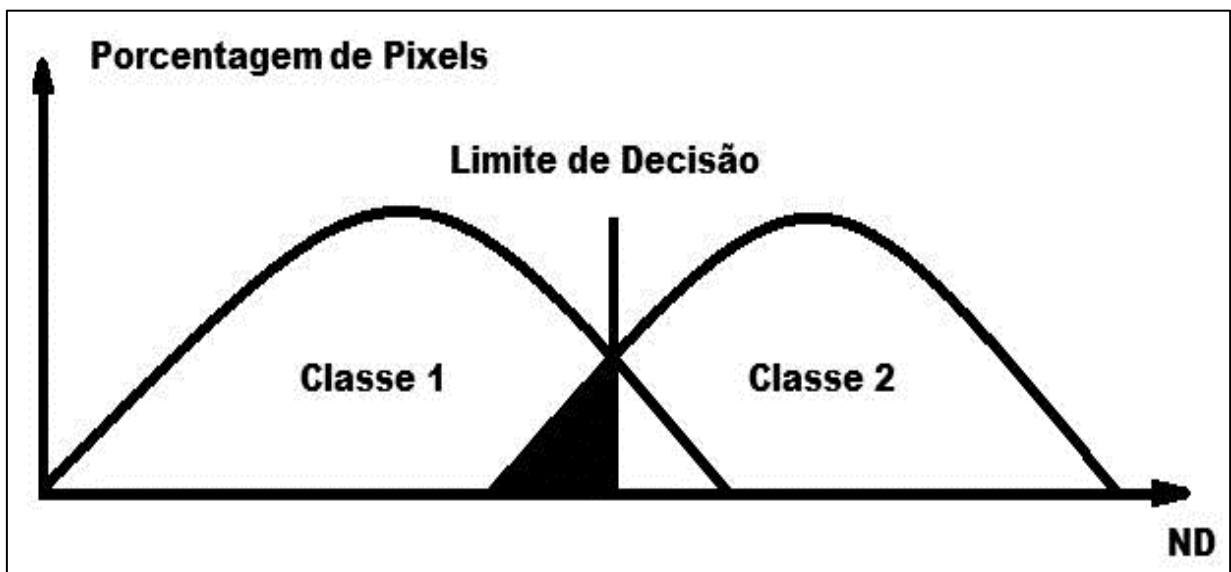
Após as modificações necessárias iniciaram-se os procedimentos para a classificação da imagem. Foram escolhidas as bandas 3, 4 e 5 do sensor OLI e TIRS que corresponde a faixa do Espectro Eletromagnético do verde (green), vermelho (red) e infravermelho próximo (Near Infrared), respectivamente.

Na classificação multiespectral, que é o caso em questão, a primeira etapa a ser realizada é o treinamento. Este treinamento consiste no reconhecimento da assinatura espectral das classes e pode ser realizada de duas formas, supervisionado e não supervisionado. Nesse estudo, adotou-se o treinamento

supervisionado que exige o uso da capacidade interpretativa do técnico. Tal método de treinamento tem como base parâmetros preestabelecidos pelo profissional, que necessariamente, deverá ter conhecimento das características da área de estudo (FITZ, 2010).

Dentre os classificadores *pixel a pixels* os mais utilizados são: Máxima Verossimilhança (MAXVER), distância mínima e método do paralelepípedo. No presente trabalho foi utilizado o classificador Máxima Verossimilhança (MAXVER), que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Neste método o conjunto de treinamentos definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. Assim, para duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas, as distribuições representam a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma ou outra classe, dependendo da posição do *pixel* em relação a esta distribuição. Ocorre uma região onde as duas curvas sobrepõem-se, indicando que um determinado *pixel* tem igual probabilidade de pertencer às duas classes. Nesta situação estabelece-se um critério de decisão a partir da definição de limiares (DPI/INPE, 2016).

Figura 13 - Exemplo de limite de aceitação de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Um "pixel" localizado na área sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 01.



Fonte: (INPE, 2010)

A limiar de aceitação utilizada na classificação da área de estudo foi de 95%, o que indica a porcentagem de *pixels* da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. Para diminuir a confusão entre as classes e reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, foi realizada a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e procedida a avaliação da matriz de classificação das amostras, as quais são apresentadas no Tabela 2.

Tabela 2 - Números de *pixels* coletados de cada amostra.

CLASSES	AMOSTRAS (EM PIXEL)																						
SOLO	885	684	1495	425	416	616	513	300	312	1426	2793	9865											
PASTAGEM	682	78	432	160	918	440	464	376	280	432	1189	156	385	928	684	3456	408	35	735	352	1170	950	14710
OUTRAS CLASSES	50	99	216	105	135	20	108	437	260	546	144	224	54	198	192	418	3206						
FLORESTA	602	210	14	2952	378	3212	3933	5148	1166	1050	18665												
ÁGUA	16	49	64	184	360	280	953																

Fonte: Dados obtidos a partir de treinamento realizado em imagem multiespectral.

Em seguida foi realizada a análise das amostras conforme apresentado na Tabela 3. Nesta análise, obteve-se a matriz de classificação da imagem com as porcentagens das 5 classes definidas na aquisição de amostra, os valores de desempenho médio, a abstenção (quando não foi classificado) e a confusão média.

Tabela 3 - Matriz de classificação da imagem com as porcentagens das 5 Classes.

CLASSE	ÁGUA	PASTAGEM	FLORESTA	SOLO EXPOSTO	OUTROS	ABSTENÇÃO
ÁGUA	98,46 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	1,54 %
PASTAGEM	0,00 %	96,55 %	0,00%	0,00 %	2,45 %	1,00 %
FLORESTA	0,00 %	0,00 %	97,05 %	0,00	0,62 %	2,33 %
SOLO EXPOSTO	0,00 %	0,00 %	0,00 %	97,07 %	0,53 %	2,40 %
OUTROS	0,00 %	0,35 %	0,18 %	0,62 %	96,67 %	2,18 %
MÉDIAS						
DESEMPENHO MÉDIO						97,16 %
CONFUSÃO MÉDIA						0,84 %
ABSTENÇÃO MÉDIA						1,89 %

Fonte: Dados obtidos a partir de treinamento realizado em imagem multiespectral.

Conforme (DPI/INPE, 2016), uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo, esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes. Na matriz de classificação apresentada os valores da linha diagonal se comportaram nas proximidades dos 100 %. Sendo assim, o treinamento realizado obteve amostras confiáveis da imagem.

Com a classificação finalizada procedeu-se o mapeamento das áreas de interesse. Nesta fase foram criadas as classes avaliadas neste estudo em toda a extensão do município, de forma a agregar os principais tipos de cobertura do solo. Foram elencadas 5 (cinco) classes de uso e ocupação do solo e atribuída uma cor para cada uma delas. As características das classes são descritas a seguir:

- Floresta: inclui toda a vegetação arbórea e arbustiva, tanto natural quanto plantada, identificadas na imagem.
- Pastagem: inclui toda a área destinada à criação de gado, inclusive as áreas de pastagens degradadas.
- Solo exposto: áreas utilizadas para o plantio de culturas anuais e áreas urbanas exceto pastagens degradadas e estradas.
- Água: inclui todos os corpos d'água identificados na imagem.
- Outras Classes: engloba as áreas ocupadas com as culturas perenes, áreas de queimada, regiões rochosas e etc.

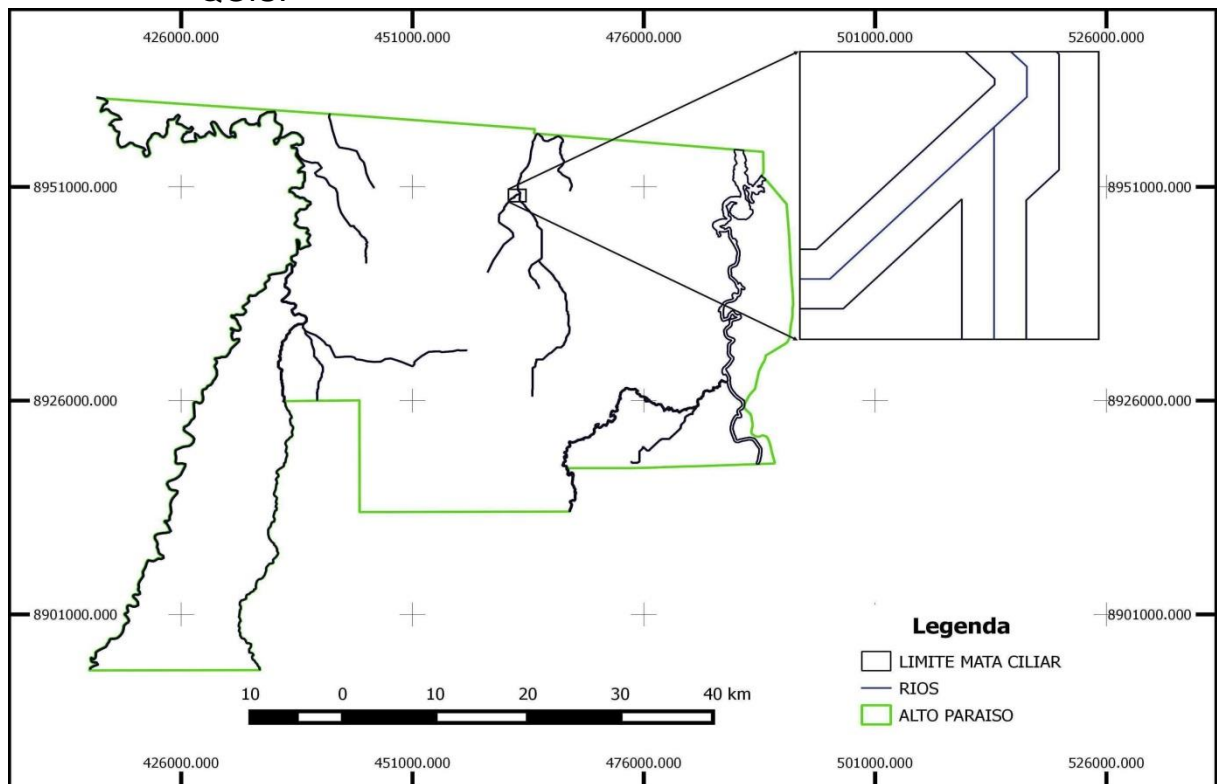
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Delimitação e Quantificação da Mata Ciliar.

A área de mata ciliar delimitada e objeto principal desta pesquisa, totalizou 6.134,8968 hectares, representando 2,31 % da área territorial do município de Alto Paraíso. Na figura 14 verifica-se o resultado gerado utilizando-se da ferramenta *buffer* do software QGIS, onde fica nítida a faixa marginal que deveria ser ocupada por mata ciliar ao longo dos cursos d'água selecionados para este estudo.

A aplicação de *buffer* para a delimitação das áreas de preservação contíguas à rede de drenagem (rios) se mostrou eficiente e de fácil manuseio, sendo um procedimento consolidado para o mapeamento destas áreas. Trabalhos como os de (VASCONSELLOS, 2002) e (RAUEN, 2011) utilizaram da mesma técnica para realizar a delimitação das faixas marginais e a elaboração dos mapas temáticos das APPs.

Figura 14 – Delimitação da área de mata ciliar utilizando a ferramenta *software* QGIS.

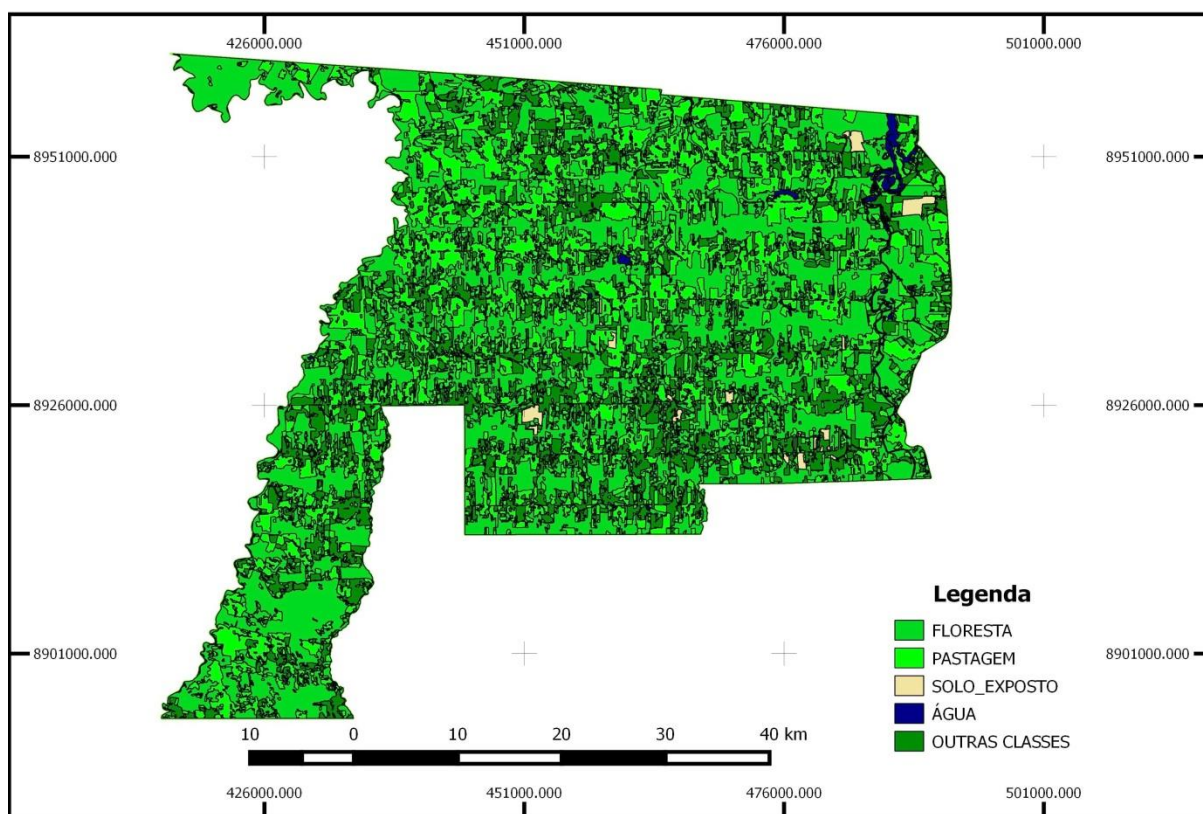


4.2. Mapeamento da Ocupação e Utilização do Solo da Mata Ciliar.

Conforme evidenciado nos trabalho de Florenzano (2011) e Fitz (2010) a interpretação de imagem de sensores orbitais permite a identificação do tipo do uso do solo e sua ocupação, calcular a área ocupada com cada tipo de uso, acompanhar as transformações dos ambientes no decorrer do tempo e registrá-las em mapas utilizando SIGs.

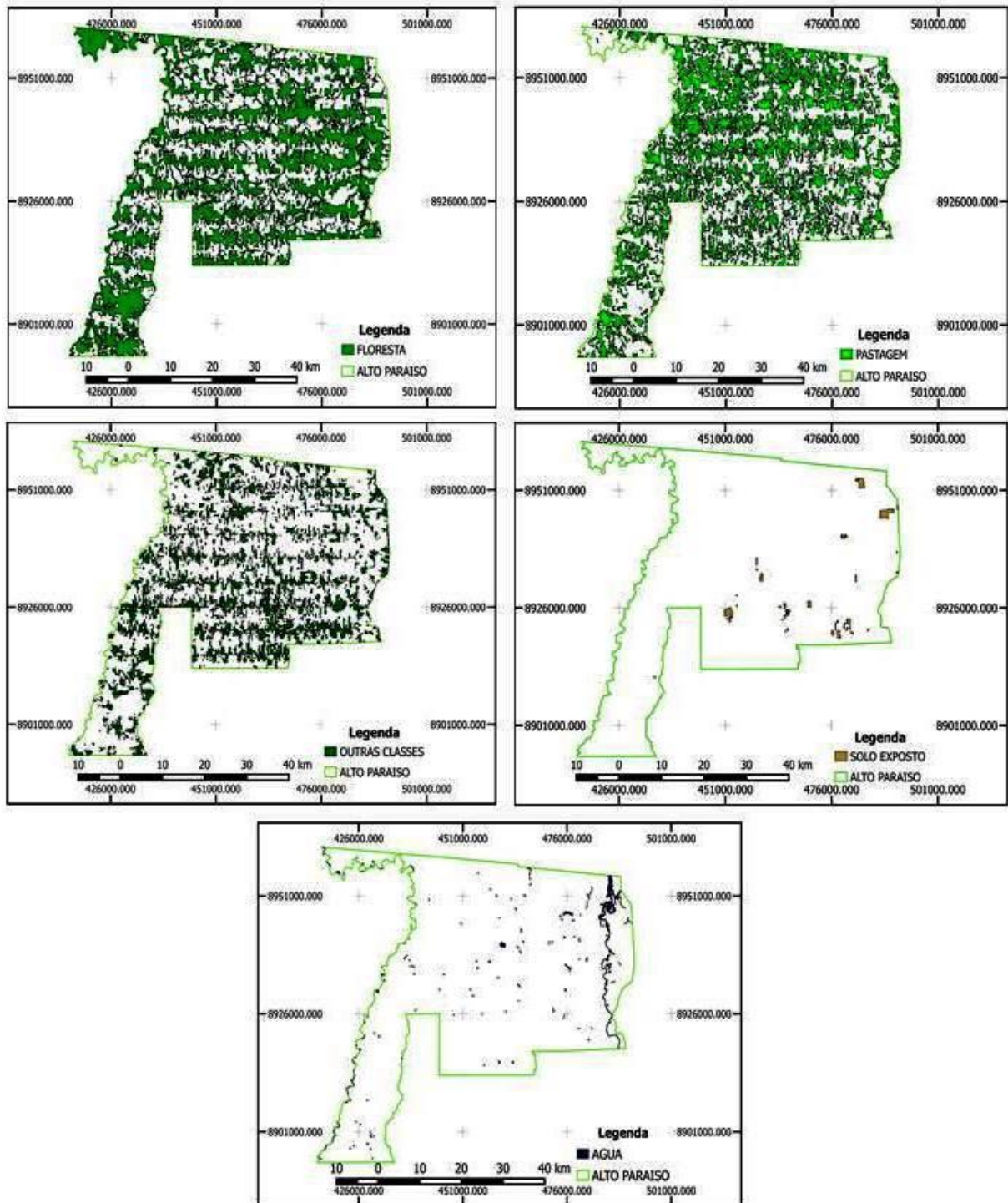
Partindo do pressuposto supracitado iniciou-se o mapeamento da ocupação e utilização do uso do solo da área de mata ciliar, sendo primeiramente realizada a classificação e mapeamento de toda a área do município de Alto Paraiso estabelecendo 5 (cinco) classes de uso e ocupação do solo, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Mapa de classificação e uso do solo do Município de Alto Paraiso - RO.



Na Figura 16 são apresentadas as classes de uso e ocupação do solo individualizada. Onde se pode observar que a área ocupada por floresta é predominante.

Figura 16 – Mapa individual das classes.



Para a quantificação das áreas de cada classe analisada neste estudo, foi realizada a vetorização da imagem obtida no mapa de classificação de uso e ocupação do solo (Figura 15). O processo de vetorização resultou em um arquivo do tipo *shapefile*, cujo qual foi manipulado e quantificado os dados de sua tabela de atributos, dados estes que representam as áreas em hectare dos polígonos das

classes. A Figura 17 mostra o mapa de classificação e uso do solo vetorizado e o Quadro 04 apresenta a extratificação consolidado resultante da tabela de atributos das classes.

Figura 17 – Mapa das classes vetorizadas.

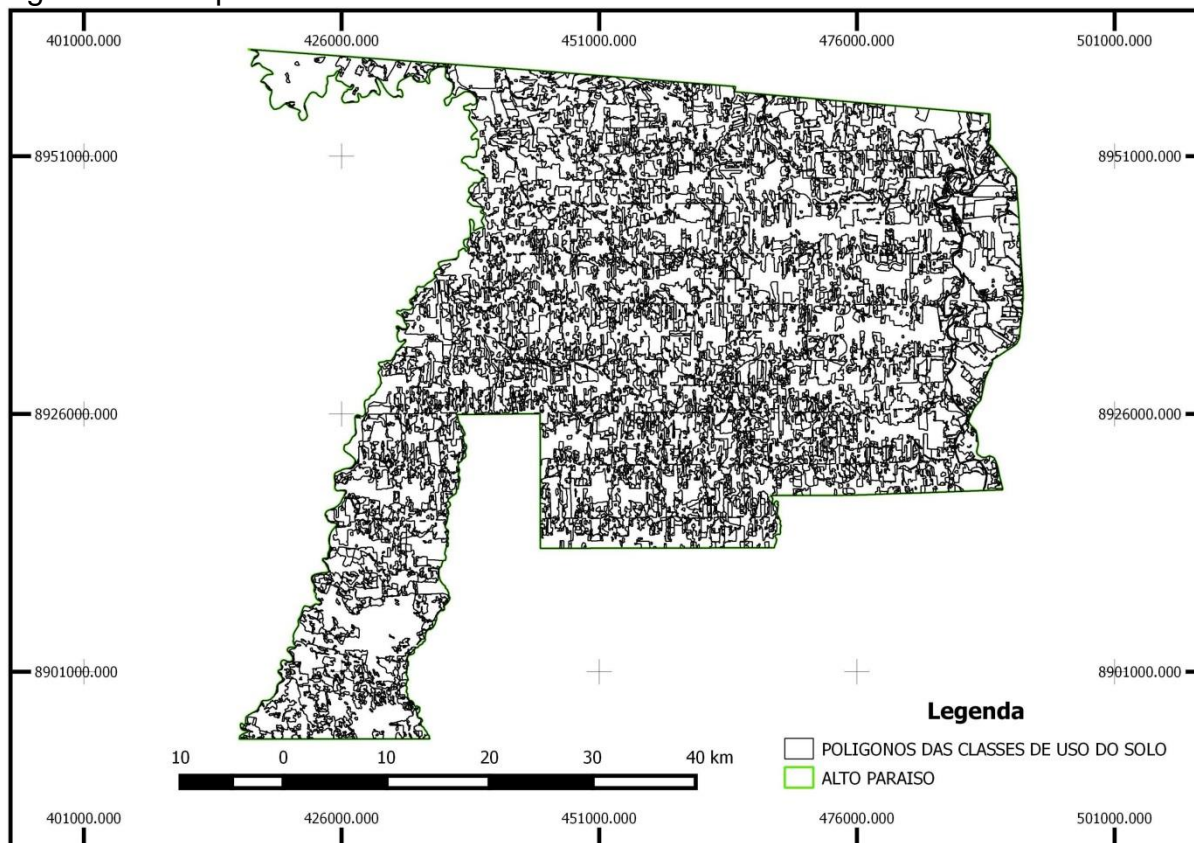


Tabela 4 – Extratificação das classes de uso e ocupação do solo do município de Alto Paraíso

Água	Floresta	Solo exposto	Pastagem	Outras classes	Área não classificada	Total
----- ha -----						
2.451,265	109.114,668	3.880,809	87.460,281	46.442,271	15.831,000	265.180,296

Para a quantificação das classes de ocupação e uso do solo (Figura 18), constantes no perímetro que deveria ser ocupado exclusivamente por mata ciliar, o procedimento utilizado foi o geoprocessamento da camada vetorizada de uso e ocupação do solo (Figura 17), efetuando-se o corte desta por meio da camada de delimitação da área de mata ciliar (Figura 14). Manipulando-se o arquivo *shapefile* resultante do processo e os dados de sua tabela de atributos, foi possível obter-se

as informações de áreas em hectares de cada classe de uso e ocupação do solo, inseridas nos limites da faixa marginal de mata ciliar dos corpos d'água pertinentes a esta pesquisa. A Tabela 5 sintetiza o processo exposto acima, quantificando a área e a porcentagem que cada classe ocupa dentro da área que deveria ser ocupada por mata ciliar.

A Figura 18 destaca a camada vetor de delimitação das matas ciliares sobreposta ao mapa de classificação e uso do solo do Município de Alto Paraíso.

Figura 18 – Mapa de classificação do Uso e Ocupação da área de Mata Ciliar.

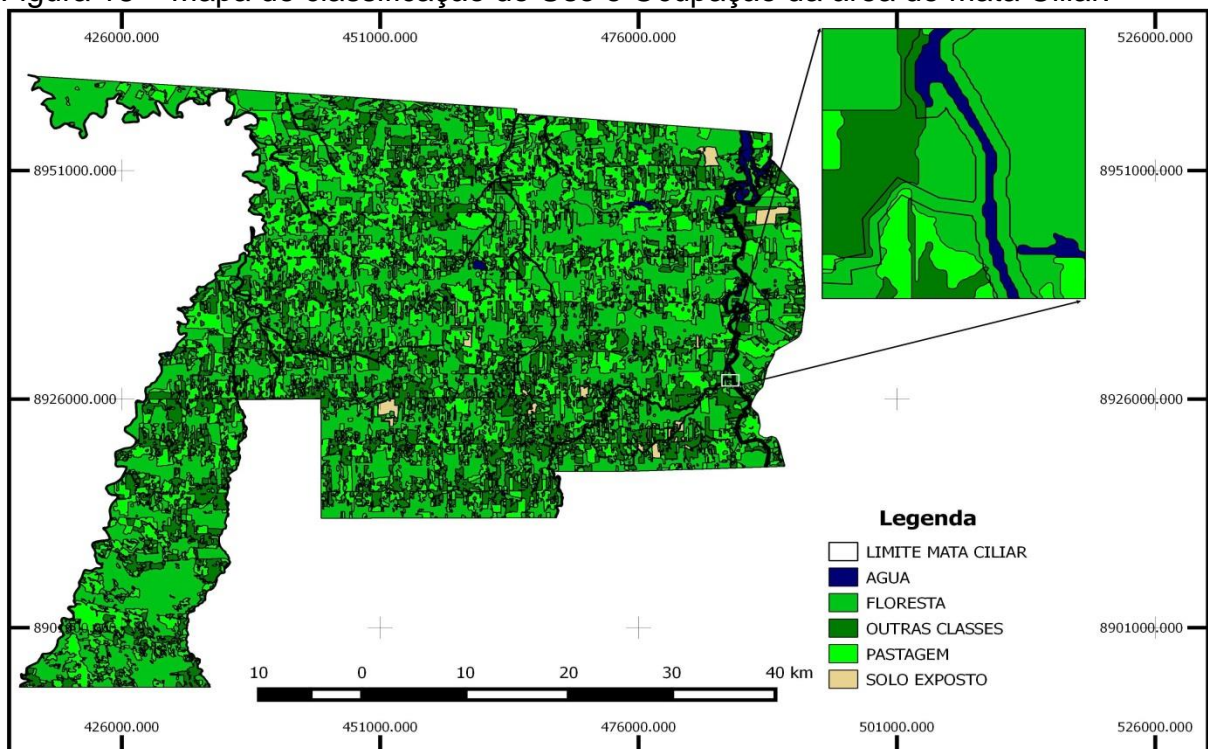


Tabela 5 – Extratificação das classes de uso e ocupação do solo a área de mata ciliar do Município de Alto Paraíso.

Floresta	Solo exposto	Pastagem	Outras classes	Área não classificada	Total
----- ha -----					
4.863,9362	21,1291	669,7456	214,2287	274,9914	6.134,8968
----- % -----					
75,88	0,33	10,45	3,34	4,29	100

Analisando o Quadro 05 pode-se determinar que o município de Alto Paraíso, ainda detém mais áreas de florestas do que qualquer outro tipo de cobertura do solo, sendo esta a classe com maior quantidade (41,14%), seguida pelas áreas de pastagem que atingiu 32,98%, outras classes (17,51%), áreas não classificadas (5,96%), solos expostos (1,46%) e águas (0,92%). Tal resultado evidencia que as medidas de preservação e a conscientização da população estão dando resultado, tornando a área preservada (floresta) superior às demais. Outra situação observada é que a área de solo exposto ocupa um valor pouco expressivo quando comparada às áreas de floresta e pastagem, o que leva a crer que estas ainda não são um problema ambiental tão preocupante no município de Alto Paraíso, ainda mais se for levado em conta que muitas destas áreas periodicamente são ocupadas por culturas anuais e recebem práticas conservacionistas do solo, o que minimiza o processo de degradação destas áreas e diminuem os riscos de lixiviação, erosão e assoreamento dos cursos d'água. A classe "Outras Classes", analisada neste trabalho corresponde a diferentes coberturas e uso do solo, sendo que estas podem ou não, se alternarem ao longo do tempo com as demais classes analisadas aqui. Na região de estudo, esta classe tende a se transformar na classe de solo exposto ou pastagem, o que torna esta uma classe merecedora de uma maior atenção, diante do fato desta poder vir a causar danos ambientais futuramente.

Diante os resultado apresentados, foi identificado que o município de Alto Paraíso, possui 75,88 % da área de mata ciliar dos principais rios encontram-se preservadas, correspondendo a um total de 4.863,9362 hectares. Já a área antropizada, representada pelas demais classes (solo exposto, pastagem, outras classes e áreas não classificadas), ocupam 24,12 %, o que equivale a 1.270,9609 hectares de ocupação e uso do solo e que não deveriam estar contidas na área exclusivamente destinada a mata ciliar.

Vale ressaltar que visando à recuperação de áreas antropizadas, além da largura do curso d'água, deverá ser levado em consideração também o tamanho das propriedades ribeirinhas, conforme instituído no novo Código Florestal.

Ficou em evidência que as áreas de mata ciliar recobertas por usos indevidos, estão constantemente sofrendo alterações, fato este que merece atenção, já que este tipo de ação é danosa e reflete diretamente na qualidade e quantidade de água nas microbacias existentes no município de Alto Paraíso.

Observou-se que para o mapeamento de classes de uso, ocupação e utilização do solo, fazendo-se uso de Imagem de Satélite - LANDSAT 8 - sensores Operacional Terra Imager (OLI) e Térmica Sensor Infravermelho (TIRS), com resolução espacial de 30m, algumas áreas foram suprimidas da classificação, devido ao seu tamanho ser inferior a resolução espacial do sensor utilizado, dentre elas: segmentos de estrada, alguns corpos d'água, obras civis e quaisquer outros alvos que ocupassem área inferior a 900 m² (1 *pixel*), ou seja, se o objetivo do trabalho for identificar alvos inferiores a um *pixel*, as imagens capturadas pelo Satélite LANDSAT 8 – sensores OLI / TIRS, não são recomendadas por não oferecerem resultado satisfatório.

Entretanto em classificação de uso e ocupação do solo de áreas extensas, como a realizada neste trabalho, onde o objetivo foi analisar os fragmentos de classes com representatividade superiores a um *pixel*, o mesmo não acontece, tornando o produto destes sensores ferramentas confiáveis para o tipo de classificação / mapeamento realizado.

Este trabalho demonstrou que a Geotecnologia pode ser usada como instrumento que facilita a análise de uso do solo e a delimitação de áreas de interesse o que poderá ser usado pelo poder público na tomada de decisões sobre a gestão dos recursos ambientais.

5. CONCLUSÕES

Diante os fatos expostos pode-se concluir que:

1. Através da utilização de geotecnologia e mediante a metodologia trabalhada foram delimitados 6.134,8960 hectares de matas ciliares e 05 (cinco) classes de uso e ocupação do solo: floresta, pastagem, solo exposto, água e outras áreas. Dentre as classes, de estudo todas com exceção de florestas, são áreas que representam um tipo de uso indevido do solo.
2. A presença destas classes na área de mata ciliar corresponde a 24,12 % do total.
3. A exploração do solo é intensa na área de estudo, o que implica na não preservação plena das áreas de mata ciliar, pois determinados usos, como pastagem, penetram nestas áreas. Deste modo, há uso irregular das margens dos rios, portanto propõe-se ações mitigatórias, que possibilitem a continuação da preservação da vegetação nativa e a recuperação das áreas antropizadas.
4. A utilização do sensoriamento remoto agregado aos *softwares* de SIG, e aplicando as ferramentas de geoprocessamento, como: PDI e cartografia digital, apresentaram resultados satisfatórios, recomendando estas ferramentas e a metodologia utilizada para o trabalhos que farão estudos similares de uso e ocupação de solo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLUTA, Ivalde. *et al. Aplicação de técnica de geoprocessamento em áreas degradadas de mata ciliar e sua correlação com qualidade da água numa sub-bacia hidrográfica.* In: IRRIGA, 16, 2011, Botucatu. *Anais...* Botucatu: IRRIGA, 2011 p. 177-198.

BITTENCOURT, Luis Fabian de Freitas.; BATISTA, Getúlio Teixeira.; CATELANI, Celso de Souza. *Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo de ocupação de solo de mata ciliar do rio Paraíba do Sul no município de Caçapava.* In: PRIMEIRO SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO DO VALE DO PARAÍBA, Taubaté, 07 de dezembro de 2006, *Anais...* Taubate: UNITAU, 2006.

BRASIL. Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012. Altera o Código Florestal Brasileiro. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 maio. 2012.*

FLORENZANO, Teresa Gallotti. *Iniciação em Sensoriamento Remoto.* 3ª ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina do Texto, 2011.

GONÇALVES, Jorge L.G.; FRANCICO, Paulo R. M.; NETO, João M. Moraes. *Identificação de áreas degradadas utilizando geotecnologias no município de Soledade – PB.* In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 06, 2012, Aracaju, *Anais...* Aracaju: UFS-SE, 2012.

LUIZ, Carlos Henrique Pires. *et al. A Utilização de Imagens do Satélite CBERS-2 para o Controle da Mata Ciliar.* In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 2009. p. 2809-2816.

MEYER, Sylvia Therese, et al, *Composição florística da vegetação arbórea de um trecho de floresta de galeria do Parque Estadual do Rola-Moça na Região*

Metropolitana de Belo Horizonte, MG, Brasil. Acta Botânica Brasílica vol.18 no.4 - São Paulo Oct./Dec. 2004.

NASCIMENTO, Heloísa Rodrigues; ABREU, Yolanda Vieira de. *Geotecnologias e o Planejamento da Agricultura de Energia*. Málaga, Espanha: Eumed.Net, Universidad de Málaga, 2010.

POLÍZIO JÚNIOR, Vladimir. *Novo Código Florestal – Comentado, Anotado e Comparado*. 1ª ed. São Paulo: Rideel, 2012.

RAUEN, Vanessa Amadi Barros. *Uso de SIG na Delimitação de Áreas de Preservação Permanente e no Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Ribeirão Piraí – SP*, Florianópolis, 2011.

VASCONCELLOS, Rogério Pinto. *O Uso do Geoprocessamento na Quantificação de Fragmentos Naturais e Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente em Unidades De Conservação - Estudo de Caso da Mata Escura*, Belo Horizonte, 2002.

VELOSO, Gabriel Alves. *et al. Aplicação da Geotecnologia no Estudo da Preservação/Supressão da Mata Ciliar na Bacia do Rio Riachão/MG*. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16, 2010, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: AGB, 2010.

Site visitados:

ARVORES BRASIL, 2016. Disponível em: http://www.arvoresbrasil.com.br/?pg=reflorestamento_mata_ciliar> Acesso em: 30 Maio de 2016.

BRASIL. Decreto nº 7830, de 17 de outubro de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm> Acesso em: 29 de Maio de 2016.

WWF, 2016. Disponível em: http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/matasa_ciliares/> Acesso em: 30 de Maio 2016.

SECRETÁRIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS NO PARANÁ, 2016. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=220>> Acesso em: 30 de maio de 2016.

PUC-RIO, 2016. Disponível em: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0711323_09_cap_02.pdf Acesso em: 05 de junho de 2016.

U.S. Geological Survy (Earth Explore), 2016. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em 10 de julho de 2016.

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM, 2016. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/component/content/article/106-meio-fisico/136-bacias-hidrograficas-de-rondonia>. Acesso em 15 de julho de 2016

Departamento de processamento de Imagem – DPI, 2016. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>. Acesso em 22 de julho de 2016.