

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**GEOTECNOLOGIAS NO MONITORAMENTO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS POR INDICADORES AMBIENTAIS**

GUSTAVO FERREIRA DE SOUZA

São Carlos

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**GEOTECNOLOGIAS NO MONITORAMENTO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS POR INDICADORES AMBIENTAIS**

GUSTAVO FERREIRA DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa

São Carlos

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
C. P. 676 – 13.560-970 – São Carlos – SP
Fone/FAX: (16) 3351-8295
e-mail: ppgeu@ufscar.br home-page: www.ppgeu.ufscar.br



FOLHA DE APROVAÇÃO

GUSTAVO FERREIRA DE SOUZA

Dissertação defendida e aprovada em 13/12 /2012
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa
Orientador (DECiv/UFSCar)

Antonio Conceição Paranhos Filho
(PGTA/UFMS)

José Luiz Albuquerque Filho
(IPT/SP)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPGEU

“Tudo no começo é sonho ou loucura. Nada do que o homem fez no mundo teve início de outra maneira – Mas já tantos sonhos se realizaram que não temos o direito de duvidar de nenhum”.

Monteiro Lobato

Agradecimentos

Aos meus pais, Sueli Helma da Silva Souza e Antonio Ferreira de Souza que sempre me incentivaram a estudar e dedicar-se aos meus sonhos em todos os momentos.

Ao meu irmão Gabriel Ferreira de Souza, no qual crescemos juntos tentos sonhos semelhantes e sempre torceu por min.

A minha namorada Lorena Avelina Rojas Gutierrez que sempre apoiou e esteve ao meu lado em todas as etapas deste e outros trabalhos.

Ao Professor Ademir Paceli Barbassa, por dar a oportunidade desde trabalho.

Todo o universo espiritual em nome de Deus que sempre esteve me guiando em todos os processos.

Ao programa de pós-graduação e as agencias de fomento a pesquisa CNPQ/CAPES/ANA que financiaram e proporcionaram bolsas que são fundamentais para alunos sem condições poderem realizar seus sonhos e crescer.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para esse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1 A GESTÃO E O GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	19
3.2 A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	21
3.3 GEOTECNOLOGIAS E APLICAÇÕES AMBIENTAIS.....	23
3.3.1 Sensoriamento Remoto.....	24
3.3.2. Sensores do satélite Landsat.....	25
3.3.3. Sensores do satélite CBERS.....	26
3.3.4. Satélites RapidEye.....	30
3.3.5. Sensores do satélite WorldView-2.....	30
3.3.6. Índices de vegetação.....	31
3.3.7. Modelo Digital de Elevação.....	32
3.3.8. Sistema GPS.....	33
3.3.9. Vulnerabilidade ambiental.....	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1. ESCOLHA DA ÁREA PILOTO.....	36
4.2. SELEÇÃO DOS INDICADORES DE INTERESSE.....	38
4.3. GEOTECNOLOGIAS EMPREGADAS.....	41
4.3.1. Imagens de satélite.....	41
4.3.2. Modelo Digital de Elevação (MDE).....	41
4.3.3. Base de dados cartográfica digital.....	42
4.3.4. Sistema GPS para coleta de informações em campo.....	42

4.4. ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	43
4.4.1. Armazenamento de dados	43
4.4.2. Composição de imagens de satélites	43
4.4.3. Recorte e georreferenciamento.....	44
4.5. APLICABILIDADE, IDENTIFICAÇÃO E CÁLCULO DE INDICADORES .	44
4.5.1. Levantamento de dados em campo com GPS	50
4.5.2. Escala de trabalho	51
4.5.3. Cálculo dos indicadores geoambientais	51
4.5.3.1. Análise espacial da área de preservação permanente (APP)	51
4.5.3.2. Classificação do uso e cobertura do solo	51
4.5.4. Dinâmica espaço-temporal dos indicadores.....	51
4.6. TRAÇADO DE DIVISORES DE BACIA	52
4.7. PROPOSTA DE INDICADOR POR VULNERABILIDADE AMBIENTAL E GEOINDICADORES	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
5.1. LIMITE DE DETECÇÃO DOS SENSORES DE SATÉLITE.....	58
5.2. USO E COBERTURA DO SOLO E O MONITORAMENTO ESPACIAL DOS INDICADORES	72
5.3. ANÁLISE DE NASCENTES.....	74
5.4. GERENCIAMENTO DOS LIMITES DE BACIA	80
5.5. VULNERABILIDADE AMBIENTAL	81
5.6. INDICADOR DE USO E CONSERVAÇÃO DO SOLO	80
6. CONCLUSÃO	90
7. AGRADECIMENTOS.....	97
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

RESUMO

Os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) têm dificuldades no gerenciamento de recursos hídricos porque as unidades fisiografias se referem a grandes áreas de extensão territorial, com inúmeros problemas acumulados ao longo das últimas décadas e distribuídos por toda a bacia. No Estado de São Paulo, as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) são as divisões territoriais considerados para gestão dos recursos hídricos, sob responsabilidade dos CBHs, com o desafio de mitigar e restaurar os impactos ambientais. Para cumprir as funções de gerenciamento, utiliza-se de mecanismos de suporte, tais como aplicar tecnologias e elaborar diagnósticos para implementar políticas de recursos hídricos. Este trabalho tem por objetivo aplicar geotecnologias em monitoramento e controle de recursos hídrico, nesse sentido contribuir com aplicação de tecnologia no processo de gerenciamento do comitê. Foi organizada uma base de dados em sistemas de informações geográficas (SIG), como apoio para avaliar a aplicabilidade de sensores remotos de satélites na identificação e cálculo de indicadores geoambientais, consoante ao desenvolvimento de um roteiro de aplicação de geotecnologias para análise do uso e cobertura do solo e representar as modificações no gerenciamento de empreendimentos do comitê, do início em 1995 até o ano de 2012. O estudo foi desenvolvido em uma área piloto no CBH Turvo/Grande (CBH-TG), utilizando-se a plataforma gvSIG e os sensores dos satélites Landsat, CBERS, IRS, RapidEye, WorldView-2eSentinel-2A. Aplicaram-se processamentos digitais de imagem e validaram-se os resultados através de levantamentos de campo. Os resultados mostraram que a imagem de satélite não está limitada por sua resolução espacial para mapeamento e monitoramento, e que a evolução da ocupação e cobertura do solo esteve condicionada à transformação do domínio da pastagem pela agricultura em um período de 20 anos, com impactos diretos nas áreas de preservação permanente, de reserva legal, assoreamento e na quantidade dos recursos hídricos. A partir de análise espacial do cruzamento de dados em ambiente SIG foi gerado um mapa de vulnerabilidade ambiental que auxilia na interpretação geoambiental, evidenciando com o grau de morfogênese e pedogênese. Na análise da gestão territorial da bacia avaliou-se que as delimitações das bacias são imprecisas para uma gestão na escala que uma UGRHI necessita.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Geotecnologias, Indicadores.

ABSTRACT

The River Basin Committees (CBHs in portuguese, *Comitês de Bacias Hidrográficas*) have difficulties in managing water resources because the physiographic units refer to large areas of territorial extension, with numerous problems accumulated over the last decades and distributed throughout the basin. In the State of São Paulo, the Water Resources Management Units (UGRHIs in portuguese, *Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos*) are the territorial divisions considered for the management of water resources, under the responsibility of CBHs, with the challenge of mitigating and restoring environmental impacts. In order to fulfill the management functions, support mechanisms are used, such as applying technologies and developing diagnostics to implement water resources policies. This work aims to apply geotechnologies in monitoring and control of water resources, in this sense contribute to the application of technology in the management process of the committee. A database on geographic information systems (GIS) was organized as a support to evaluate the applicability of remote satellite sensors in the identification and calculation of geoenvironmental indicators, according to the development of a geotechnology application roadmap for use and coverage analysis of the project, from the beginning of 1995 to the year 2012. The study was developed in a pilot area in CBH Turvo / Grande (CBH-TG), using the gvSIG platform and the sensors from the Landsat, CBERS, IRS, RapidEye, WorldView-2 and Sentinel-2A satellites. Digital image processing was applied and the results validated through field surveys. The results showed that the satellite image is not limited by its spatial resolution for mapping and monitoring, and that the evolution of the land cover and occupation was conditioned by the transformation of the field of pasture by agriculture in a period of 20 years, with direct impacts in the areas of permanent preservation, legal reserve, siltation and the quantity of water resources. From a spatial analysis of the data crossing in a GIS environment, an environmental vulnerability map was generated that assists in the geoenvironmental interpretation, evidencing with the degree of morphogenesis and pedogenesis. In the analysis of the territorial management of the basin it was evaluated that the delimitations of the basins are imprecise for a management in the scale that a UGRHI needs.

Key words: Watershed, Geotechnologies, Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.	Sequência metodológica do monitoramento dos indicadores na pesquisa.....	36
Figura 4.1.	Localização da área de estudo (Landsat-5 TM, 2006).....	37
Figura 4.3.3.	Cartas topográficas da área de estudo na escala 1:50000.....	32
Figura 4.5.1(a).	Equipamento GPS de navegação utilizado no trabalho de campo (Trimble Juno AS).....	48
Figura 4.5.1(b).	Equipamento GPS auxiliar utilizado no trabalho de campo (Garmin Etrex30).....	48
Figura 4.5.1(c).	Aquisição de imagem <i>Birdseye</i> no programa <i>BaseCamp</i> (Garmin Etrex30).....	49
Figura 4.5.1(d).	Seleção do quadrante de interesse no programa <i>BaseCamp</i> (Garmin Etrex30).....	49
Figura 4.5.1(e).	<i>Download</i> da imagem <i>Birdseye</i> no programa <i>BaseCamp</i> (Garmin Etrex30).....	50
Figura 4.5.1(f).	Imagem <i>Birds eye</i> no programa <i>Base Camp</i> (Garmin Etrex30).....	50
Figura 4.5.3.	Esquema de classificação temática espectral.....	53
Figura 4.6(a).	Projeto TOPODATA do INPE.....	54
Figura 4.6(b).	Etapas do processo de geração do limite de bacia.....	56
Figura 4.7.	Somatório dos mapas de variáveis ambientais.....	58
Figura 5.1(a).	Árvore de grande porte (à direita da estrada).....	59
Figura 5.1(b).	Foto panorâmica do ponto 1 - árvore (à esquerda da estrada) e área de pastagem (à direita da estrada).....	59
Figura 5.1(c).	Imagem do satélite WorldView-2 com pixel de 50 cm de resolução espacial e fusão de bandas multiespectrais pancromática.....	60
	
Figura 5.1(d).	Imagem do satélite CBERS-2, sensor HRC, com pixel de 2,5 m de resolução espacial.....	60

Figura 5.1(e).	Imagem do satélite RapidEye com pixel de 5 m de resolução espacial.....	61
Figura 5.1(f).	Imagem do satélite IRS-P3 com pixel de 23 m de resolução espacial.....	62
Figura 5.1(g).	Imagem do satélite CBERS, sensor CCD, com pixel de 20 m de resolução espacial e realce ajustado.....	63
Figura 5.1(h).	Imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, com pixel de 30m de resolução espacial.....	63
Figura 5.1(i).	Imagem do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com pixel de 20 m de resolução espacial composição de bandas 3-4-2...	59
Figura 5.1(j).	Imagem do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com pixel de 20 m de resolução espacial, composição de bandas 2-3-4..	64
Figura 5.1(k).	Foto panorâmica do ponto 2.....	65
Figura 5.1(l).	Vista da estrada antes de atravessar a ponte.....	66
Figura 5.1(m).	Mata e plantio de cana e <i>citrus</i> (à direita da rodovia, antes da ponte).....	66
Figura 5.1(n).	Mata ciliar (largura de 30 m de APP).....	66
Figura 5.1(o).	Dimensão da margem do rio (largura menor que 10 m).....	66
Figura 5.1(p).	Estrada, que corta um fragmento de mata ciliar, muito bem visualizada na imagem do satélite WorldView-2 com pixel de 0,5 m de resolução espacial.....	67
Figura 5.1(q).	Fragmento de mata ciliar e estrada, identificados em imagem do satélite CBERS-2B, sensor HRC, com pixel de 2,5 m.....	67
Figura 5.1(r).	Estrada que corta fragmento de mata ciliar identificada em imagem do satélite RapidEye com pixel de 5 m de resolução espacial.....	68
Figura 5.1(s).	Estrada que corta o fragmento de mata ciliar identificada pouco nitidamente em imagem do satélite IRS com pixel de 23 m de resolução espacial.....	69
Figura 5.1(t).	Fragmento de mata ciliar identificado na imagem do satélite CBERS, sensor CCD, com pixel de 20 m de	

	resolução espacial.....	70
Figura 5.1(u).	Fragmento de mata ciliar identificado na imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, com pixel de 30 m de resolução espacial.....	71
Figura 5.1(v).	Imagem do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com pixel de 20 m de resolução espacial, composição de bandas 2-3-4..	72
Figura 5.2(a).	Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1986.....	73
Figura 5.2(b).	Gráfico da distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1986.....	73
Figura 5.2(c).	Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1994.....	74
Figura 5.2(d).	Gráfico da distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1994.....	74
Figura 5.2(e).	Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2000.....	75
Figura 5.2(f).	Gráfico da distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2000.....	75
Figura 5.2(g).	Gráfico da distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2000.....	76
Figura 5.2(h).	Gráfico da distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2006.....	76
Figura 5.3(a).	Imagem Landsat-5 comparado com hidrografia digitalizada por foto aérea.....	78
Figura 5.3(b).	Fotografia registrada da nascente.....	78
Figura 5.3(c).	Recuo de nascente em afluente do Córrego Sotéro.....	79
Figura 5.3(d).	Área de antigo canal de drenagem ocupado hoje por plantio de cana.....	80

Figura 5.4.	Limites de bacia sobrepostos.....	81
Figura 5.5(a).	Mapa de vulnerabilidade ambiental de Onda Verde.....	82
Figura 5.5(b).	Quantificação da área de vulnerabilidade.....	83
Figura 5.6(a).	Numeração de terraços na área de produção de cana e nenhum terraço construído na área de pecuária.....	86
Figura 5.6(b).	Proteção de nascente na área de cana e pastagem.....	87
Figura 5.6(c).	Processo erosivo na área de pastagem.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.3.2.	Características dos sensores TM e ETM ⁺ do satélite Landsat.....	26
Tabela 3.3.3(a).	Características dos sensores dos satélites CBERS-2, 2B e3.....	27
Tabela 3.3.2(b).	Características dos sensores do CBERS-4.....	28
Tabela 3.3.4.	Características do sensor dos satélites RapidEye.....	29
Tabela 3.3.5.	Características do satélite WorldView-2.....	30
Tabela 4.7.	Graus de vulnerabilidade dos mapas temáticos.....	57
Tabela 5.6(a).	Indicadores de conservação de solo.....	88
Tabela 5.6(b).	Capacidades de monitoramento dos sensores dos satélites ópticos.....	89
Tabela 5.6(c).	Relação dos limites de detecção com a resolução espacial na identificação dos alvos terrestres nas imagens de satélite.....	90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
ASI	<i>AgenziaSpaziale Italiana</i>
AVNIR	<i>Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2</i>
CAD	<i>Computer Aided Design,</i> Desenho Assistido por Computador
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CBH-TG	Comitê de Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande
CBH-SJD	Comitê de Bacia Hidrografia de São José dos Dourados
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CDS	Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
CPTI	Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DLR	<i>Detaches Zentrumfür Luft - und Raumfahrt, German Aerospace Center</i>
ECW	<i>Enhanced Compression Wavelet</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
ESA	<i>European Space Agency, Agência Espacial Européia</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
GSI	<i>Top soil Grain Size Index</i>
gvSIG	<i>Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica</i>
HRC	<i>High Resolution Camera</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRS	<i>Indian Remote Sensing</i>

IV	Índice de Vegetação
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
NDBI	<i>Normalized Difference Built-up Index</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDSI	<i>Normalized Differential Salinity Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
OADE	<i>Oxford Archaeology Digital Edition</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PDI	Processamento Digital de Imagem
PRISM	<i>Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping</i>
PRH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
REIS	<i>RapidEye Earth Imaging System</i>
REM	Radiação eletromagnética
RGB	<i>Red Green Blue</i>
SHP	ESRI <i>Shapefile</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas quatro décadas a expansão da população e o aumento do consumo mundial por alimentos, bens e serviços desencadeou o processo de desmatamento da vegetação nativa para produção agrícola e ocupação urbana.

A busca por recursos e o uso do espaço geográfico para a produção intensificou-se em ritmo cada vez mais acelerado, a fim de atender à demanda de produtos globais e fez do meio ambiente o principal alvo de impacto, com o desmatamento descontrolado, sem regulamentação ou processo de gestão. O fator de exploração ambiental alterou todo o equilíbrio dos recursos naturais com degradação da biodiversidade, do ar, do solo e da água.

Os impactos que afetam os recursos hídricos interferem na garantia de sustentabilidade da sociedade e do Estado, tanto para qualidade de vida das pessoas quanto para a economia. Na agricultura, principal consumidora de recursos hídricos, o uso da água foi explorado por décadas sem nenhum controle e nos últimos 10 anos com o advento das tecnologias e as rotações mais rápidas de cultura, exerce uma demanda cada vez maior de recursos hídricos que, somados ao crescimento populacional e ao crescimento industrial, promove uma pressão sobre os recursos hídricos e, se não houver controle e monitoramento, pode-se chegar ao estágio de escassez.

Com a necessidade de uso intenso dos recursos hídricos, as bacias hidrográficas, que compõem a unidade que delimita a captação e fluxo da água, sofreram impactos diversos em diferentes escalas, por cada bacia possuir características físicas e produtivas diferentes. Essa grande variação dos padrões do uso do solo em bacias exige grandes esforços para recuperar e controlar os impactos ambientais.

A gestão dos recursos hídricos apresentou-se como agenda oficial no Brasil no início dos anos 90, embora tardiamente mais de 40 anos do pós-guerra. O primeiro plano foi elaborado pelo Estado de São Paulo, instituído pela Lei Estadual n.º 7.663 de 1991 (SÃO PAULO, 1991), que contemplou vários mecanismos de gestão, dentre eles o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH). Essa foi a primeira lei que objetivou organizar a gestão dos recursos hídricos de forma abrangente no Brasil, porém em âmbito

estadual. A lei paulista serviu de referência para a legislação nacional, até hoje vigente no Brasil.

O SIGRH objetivou a execução da Política Estadual de Recursos Hídricos (PRH) e a formulação, atualização e aplicação do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH). Com esse intuito, o SIGRH, através dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH), órgãos estaduais, municipais e entidades da sociedade civil, estabeleceu um sistema único de apoio às entidades na gestão de recursos hídricos.

A bacia hidrográfica foi definida unidade básica de planejamento e gestão de recursos hídricos pela Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997). Com isto, a bacia passou a ser um recorte espacial, alvo de ações de gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, permitindo direcionar projetos, monitorar indicadores e aplicar tecnologias pelos CBHs.

Com toda a estrutura organizacional definida em legislação e as instituições gerenciadas pelo CBH, ações estão sendo direcionadas há mais de duas décadas com a missão de planejar, organizar, dirigir, controlar e monitorar todas as atividades do CBH.

Com uma demanda de gerenciamento que envolve inúmeros municípios e diversas atividades presentes dentro da bacia hidrográfica, foi identificado por Zanqueta (2009) que o acompanhamento do efeito de uma determinada ação/intervenção na bacia, de forma segura em períodos anuais, por exemplo, é uma dificuldade dos CBHs pelo restrito acesso a novas tecnologias, como as geotecnologias, e outros fatores.

Zanquetta (2009) realizou uma análise da gestão da bacia hidrográfica do Rio São José dos Dourados (BH-SJD) – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 12 (UGRHI-12) do Estado de São Paulo – a partir do plano elaborado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados (CBH-SJD). Neste estudo foi aplicada a análise da teoria neoclássica de administração (CHIAVENATO, 2004) que avaliou todas as etapas de gestão da bacia – planejar, organizar, dirigir e controlar. Se cumpridas todas estas etapas o ciclo de gestão renova-se, voltando à primeira etapa, seguida pelas subsequentes.

A produção de informações para monitoramento ambiental de indicadores pode ser extraída a partir de imagens/sensores de satélites, fotos aéreas, modelos digitais de elevação, dados e mapas digitais de órgãos públicos, dados de

dispositivos que registram coordenadas pelo sistema de posicionamento global – GPS (do inglês, *Global Positioning System*), manipulados com aplicações em plataforma SIG. Estes recursos de dados, programas e equipamentos que geram informações geoespaciais são denominados de geotecnologias.

Existem vários modelos de dados digitais disponíveis com informações para extrair, como os satélites Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), RapidEye, Sentinel, câmera embarcada em aeronave tripulada e não tripulada (Vants), modelo Digital de Elevação (MDE), dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), cartas topográficas. Esses dados estão em grande parte disponíveis na internet e alguns em órgãos municipais, estaduais e federais.

Os dados do meio físico e social de bacias hidrográficas estão armazenados em muitas instituições, agências e órgãos do Estado, mas grande parte não está disponível na internet, o acesso é mais restrito ou depende de solicitação formal aos locais que detêm o dado. Dados com informações de solo, geologia, vegetação, clima, riscos ambientais, cadastro social, dentre outros, encontra-se em propriedade do governo estadual ou federal na maioria dos casos.

Sabe-se, entretanto, que estes dados possuem características variadas e para tratamento encontram-se inúmeros programas computacionais com alta tecnologia agregada, o que dificulta em muitos casos o uso e aplicação, principalmente em órgãos de nível municipal, apesar de muitas deles serem gratuitos.

Outra questão relevante é a complementaridade e compatibilização de informações obtidas pelas várias fontes, pois elas necessitam serem ajustadas dentro das necessidades de gestão da bacia. Escala, formato, tamanho (byte), origem, projeção, precisão, capacidade de processamento, conhecimento técnico sobre a informação, também são variáveis que precisam ser gerenciadas, que reflete um processo de manipulação de dados complexa.

A gestão de bacia hidrográfica envolve várias etapas, desde a criação das políticas e leis até a execução de empreendimentos na bacia.

Zanqueta (2009) identificou que a última etapa de gestão da UGRHI-SJD não era executada. Esta etapa corresponde ao controle, monitoramento e acompanhamento após a aplicação dos recursos e execução dos empreendimentos.

Isto implica diretamente na eficácia na gestão para melhoria da qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

Este fato tem os seguintes agravantes:

- a) Uma vez não monitorados os investimentos, corre-se o risco de desperdiçá-los em ações que pouco ou nada contribuem para a melhoria dos indicadores ambientais definidos no plano de bacia. Como consequência deixa-se uma lacuna sobre o efeito dos investimentos e dificulta-se a análise dos resultados dos indicadores na recuperação ambiental.
- b) Isto pode prejudicar seriamente a tomada de decisão na aplicação de recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) em áreas prioritárias nos anos seguintes.
- c) O descumprimento da Lei nº 7663 de 30 de dezembro de 1991 (SÃO PAULO, 1991), que determina aos Comitês de Bacia Hidrográfica elaborar, anualmente, o documento denominado Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, para acompanhamento e monitoramento das realizações previstas no Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007 (SÃO PAULO, 2006).
- d) O comitê depende da recuperação e de resultados sustentados por avaliação dos indicadores ambientais nos relatórios anuais para receber maiores quantidades de recursos do Fundo Estadual de recursos Hídricos – FEHIDRO.
- e) Perda da base histórica de investimentos na bacia e a falta de dados que comprovem evolução na melhoria de indicadores.

O CBH-TG tem como um dos seus principais problemas e desafios a falta de uma de base de dados completa para gerenciamento de recursos hídricos, com dados de erosões em áreas urbanas e rurais, degradação da cobertura vegetal de toda a bacia, assoreamento de mananciais, inundações, inadequada destinação final dos resíduos sólidos, contaminação por atividades geradoras e atividades de mineração (CBH-TG, 2008).

No plano de bacia do CBH-TG há metas estratégicas para combater os problemas ambientais e melhorar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Entre as metas há investimentos previstos em tecnologia para geração de dados e análise dos indicadores ambientais definidos no plano de bacia, mas não há um plano de implementação de tecnologias.

Para o desenvolvimento do comitê para atender o plano e a demanda por tecnologias, o sensoriamento remoto e outras ferramentas de geotecnologias podem contribuir para solucionar e minimizar alguns dos principais problemas de gerenciamento ambiental da bacia, com alta tecnologia associados a uma base de dados com atualizações frequentes e custo baixo, possibilitando subsidiar o controle e monitoramento de indicadores ambientais.

É uma realidade do Estado de São Paulo e do Brasil que os comitês têm grandes desafios e dificuldades para atender à demanda de recuperação e gerenciamento dos recursos hídricos. Neste trabalho pretendeu-se aliar as necessidades de gerenciamento e aplicações das geotecnologias junto ao plano do Comitê da Bacia Hidrográfica Turvo/Grande – CBH-TG (CPTI, 2009). De acordo com o plano da bacia do CBH-TG, existe uma demanda por base de dados e tecnologias que ajude o CBH-TG a realizar as estratégias de controle e aplicação de recursos com maior eficácia. Já existe uma série de indicadores ambientais definidos e a necessidade de monitoramento, porém o CBH-TG não tem conseguido implementar por vários motivos, dentre eles a grande extensão do território, o número de indicadores e a falta de aplicação de tecnologias.

Este trabalho fez parte de um projeto envolvendo cinco instituições governamentais: Comitê da Bacia Hidrográfica Turvo/Grande (CBH-TG), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), que contribuíram no desenvolvimento das ferramentas para técnicos e agentes gestores de recursos hídricos do CBH-TG, através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro/ANA nº 15/2010.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa objetivou avaliar limites de detecção de diferentes sensores de satélites e a capacidade de aplicar geotecnologias no monitoramento ambiental por indicadores como ferramenta na tomada de decisão no gerenciamento do CBH.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral será necessário concluir os alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Organizar uma base de dados ambientais (solos, geologia, geomorfologia, vegetação, etc.) georreferenciada para subsidiar as análises de imagens e proposição de monitoramento utilizando-se indicador;
- Analisar a aplicabilidade e os limites de detecção das imagens dos satélites Landsat, CBERS, IRS, RapidEye, WorldView-2eSentinel-2Ana identificação, monitoramento e cálculo de indicadores ambientais;
- Analisar a dinâmica espaço-temporal de indicadores e o uso do solo considerado no plano de bacia;
- Avaliar o indicador de vulnerabilidade ambiental e;
- Comparar os limites de bacia no gerenciamento do comitê.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta fundamentação apresenta-se uma discussão sobre: a) gestão E gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas; b) questões legais e a evolução da regulamentação e organização do Estado e Federação a respeito da água; c) a importância dos indicadores para o monitoramento ambiental e; d) aplicações de geotecnologias no meio ambiente.

3.1 A GESTÃO E O GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

O primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Estado de São Paulo, elaborado em 199, foi aprovado pelo do Decreto nº 32954, de 07 de fevereiro (SÃO PAULO, 1991), com novas versões em: (i) 1994, através da Lei nº 9034 de 27 de dezembro (SÃO PAULO, 1994), que estabeleceu as 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado; (ii) 1996, através do Projeto de Lei nº 05 e do Decreto nº 41.258 de 31 de outubro (SÃO PAULO, 1996), que estabeleceu critérios de outorga de direito de uso dos recursos hídricos; (iii) 2000, através do Projeto de Lei nº 327 (SÃO PAULO, 2000), estabeleceu o PERH

2000/2003, em conformidade com a Lei Estadual nº 7663 de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, realizou também o Relatório “Zero” da Situação dos Recursos Hídricos do Estado e consolidou os Relatórios “Zero” dos Comitês de Bacias Hidrográficas e; (iv) obtém revisão trienal, está em sua sétima versão, estabelecendo o PERH 2016/2019.

As leis criadas pelo Estado de São Paulo colaboraram para elaboração da Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). No seu artigo quinto, a lei definiu a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumento privilegiado de ação política de controle ambiental, além de também instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), composto por um conselho nacional de recursos hídricos, conselhos de recursos hídricos dos Estados e do Distrito Federal, comitês de bacia hidrográfica e órgãos dos poderes públicos federal, estaduais e municipais relacionados com a gestão dos recursos hídricos (MARTINS; VALENCIO, 2003).

As leis federais e estaduais estabeleceram que a construção do plano de bacia hidrográfica é elaborada, organizada e gerenciada pelo comitê, onde é realizado o planejamento para recuperação e conservação dos recursos hídricos. O plano de bacia demanda grande quantidade de informações para diagnosticar, selecionar e executar empreendimentos na bacia, no qual demanda uma base de dados grande, diversificada e confiável que possa subsidiar a avaliação na tomada de decisão pelos gestores (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

A gestão dos recursos hídricos vem ao encontro dos anseios atuais da população, procurando planejar e administrar a água para que todos tenham acesso, interpretando a água de acordo com o conceito de desenvolvimento sustentável, procurando compatibilizar, cada vez mais, as demandas e ofertas dos recursos hídricos para atender a esta e às futuras gerações (CASTRO, 2005).

Para Castro (2005) o conceito de gestão difere do conceito de gerenciamento em virtude das ações de gestão ser mais amplas que as de gerenciamento, tendo em vista que a gestão engloba a construção das leis até a aplicação das mesmas, enquanto que o gerenciamento engloba os mecanismos de atuação da gestão. Os indicadores são mecanismos de gestão, enquanto o mecanismo de monitoramento e o uso de ferramentas de geotecnologias fazem parte do processo de gerenciamento.

3.2 A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL

Os indicadores são ferramentas de métrica para avaliar a qualidade e quantidade de um determinado alvo, objeto ou produto. Nos estudos ambientais não é diferente, e os indicadores são a ferramenta base para determinar a eficiência e a direção no gerenciamento dos recursos hídricos de um comitê (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

O monitoramento subsidia medidas de planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação do ambiente em análise, auxiliando na definição das melhores políticas, ações a serem adotadas e evolução da recuperação dos indicadores. É nesse contexto que se salienta a importância de contar com o auxílio de um sistema de monitoramento de indicadores

Os indicadores são informações quantitativas possíveis de monitorar uma situação de um ponto ou de uma região, seja ela de caráter político, econômico, social ou ambiental. O monitoramento pode ser comparado a um termômetro que quantifica uma determinada situação e dá uma posição das condições do que está sendo analisado (DERIVI; SAFATLE, 2011).

Como instrumentos de gestão ambiental, os indicadores auxiliam a democratização do conhecimento e a avaliação das intenções e ações de gestão, permitindo, portanto, a instauração de um sistema de governança. A valorização dos indicadores na implementação de políticas públicas decorre justamente de sua aplicabilidade à sinalização do desenvolvimento, em todas as suas dimensões, como o crescimento econômico, o bem-estar humano e a qualidade ambiental (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

Existem referências definidas como base para a utilização de indicadores ambientais, conforme sintetizado pelo Ministério do Meio Ambiente (1999), bem como a estrutura conceitual do modelo de análise pressão-estado-resposta, originalmente proposto pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (OLIVEIRA; BITAR, 2009).

Segundo Santos (2004) na gestão ambiental os indicadores são fundamentais para tomadores de decisão e para a sociedade, pois com esses é possível elaborar e apresentar cenários sobre as condições do meio ambiente, monitorar os avanços e

resultados em tomada de decisões e, também, comparar territórios de diferentes dimensões e diversas complexidades.

Por exemplo, o indicador “vegetação ciliar de córregos e rios”, quando calculado periodicamente, permitiria avaliar se as ações implementadas foram bem sucedidas; se a política, as leis, a gestão e o gerenciamento, em última análise, surtiram efeito na quantidade e qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica analisada.

Em aplicações ambientais com geotecnologias, Freitas *et al.* (2013) utilizou SIG para medir alguns indicadores, analisando: Proximidade de área de preservação permanente (APP) à vegetação nativa, proximidade da APP a áreas urbanas, proximidade da APP a malha viária, risco de erosão em APP, capacidade de sustentação da vegetação em APP e classificou a APP segundo hierarquia fluvial, que evidenciou ao grau de maior risco a APP de acordo com cada influência e indicadores passivos de monitoramento por sensoriamento remoto.

O monitoramento de indicadores por sensoriamento remoto, também indicou que a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim apresentou 19,9% de seu território protegido em forma de APP; entretanto, somente 44,6% da APP estão em conformidade com a legislação. Constatou-se que os usos do solo pastagem e silvicultura apresentam 24,6 e 12,9%, respectivamente, sendo que as demais classes representam 3,8%. Desconsiderando-se essas duas classes, todos os demais usos agrícolas ocupam 3,8% da APP (FREITAS *et al.*, 2013). Em outros estudos de mapeamento do uso da terra em bacias hidrográficas, a pastagem também foi a classe de uso mais representativa (CUNHA *et al.*, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2006; SALAMENE *et al.*, 2011).

3.3 GEOTECNOLOGIAS E APLICAÇÕES AMBIENTAIS

Com o avanço tecnológico nas últimas duas décadas na área de geotecnologias, vários países e empresas construíram equipamentos, meios de geração de dados e informações, com tecnologias que permitem realizar estudos e aplicações em diversas áreas do conhecimento.

As geotecnologias são variadas em relação à fonte, formato, disponibilidade, gratuidade ou não. Neste item são apresentadas as principais características de alguns destes recursos.

Os CBHs dependem, entre outros fatores, das disponibilidades, da qualidade e da forma de tratamento e utilização de dados em escala adequada, ou seja, da qualidade informacional dos dados, para ter capacidade de gerenciamento dos problemas da bacia. Para a consolidação dos CBHs no Brasil a existência de dados e informações é essencial (MAGALHAES JUNIOR, 2007).

Com aplicações em meio ambiente, Paranhos Filho (2000) utilizou as ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e de sensoriamento remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Taquarizinho para produzir mapas temáticos em escala multi temporal que mostram a evolução e a distribuição da perda de solos na bacia com o método da USLE (*Universal Soil Loss Equation*) proposta por Wischmeier e Smith (1978). Este tipo de estudo, usando análise multicritério, contribui para estratégias de recuperação e eficiência da gestão de bacia hidrográfica.

Hoffet *et al.* (2008) identificou o problema de gerenciamento dos recursos hídricos ao pesquisar e diagnosticar a base de dados do Município de Cambará do Sul – RS, o autor aplicou geotecnologias para monitorar e analisar os conflitos de uso do solo em todas as bacias hidrográficas do município.

Com uma abrangência muito maior de análise, Jensen (2009) apresenta vários indicadores ambientais que são analisados por sensoriamento remoto, dentre eles: sustentabilidade da paisagem, vulnerabilidade a inundações, qualidade da água, susceptibilidade da paisagem, potencial de erosão, grau de limitações biofísicas, águas subterrâneas, composição e padrão da cobertura terrestre, distribuição e extensão de cobertura vegetal, vigor da vegetação em áreas urbanas e rurais.

Coppin *et al.* (2004) apresentaram uma revisão dos métodos atuais de detecção de mudanças aplicados ao monitoramento de ecossistemas no domínio

óptico, com dados de multisensores e uma análise crítica das técnicas na integração entre os dados sensoriados e os fenômenos biofísicos geradores das mudanças na paisagem investigada.

A abrangência das geotecnologias em estudos ambientais é grande, conforme introduzido neste tópico. Sua aplicação em bacias hidrográficas subsidia o monitoramento, a análise e a proposição de ações em áreas com diferentes características ambientais. Em relação aos referenciais bibliográficos é grande o número de materiais que apresentam aplicações e estudos com sensoriamento remoto, mas ainda é necessário mais estudos sobre métodos que determinam quais geotecnologias são adequadas e quais os procedimentos são adequados para monitoramento por indicadores, considerando o modelo de gerenciamento de cada comitê.

3.3.1. Sensoriamento Remoto

Segundo Paranhos Filho *et al.* (2008) o sensoriamento remoto consiste na aquisição de dados ou imagens de um objeto em grande distância sem que haja contato físico com o alvo. Isso inclui, além de satélites e radar, as fotografias aéreas por aeronaves tripuladas ou não.

Os dados de sensores remotos precisam ser analisados para possibilitar a extração de informações necessárias ao planejamento, manejo e monitoramento dos recursos. Essa análise torna-se viável pelo fato dos alvos da superfície terrestre apresentar comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, os quais podem, portanto, ser usados para identificá-los (JENSEN, 1996).

As técnicas de Sensoriamento Remoto se fundamentam em um processo de interação entre a Radiação Eletromagnética e os diferentes objetos que se pretende estudar. A aplicação dessas técnicas é viabilizada através do cumprimento de diversas etapas que incluem a interação em si, caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação, a coleta de dados e seu registro através de um sensor e a análise desses dados com o objetivo de extrair as informações pretendidas de um dado objeto (PONZONNI; SHIMABUKURO, 2007).

A radiação eletromagnética (REM) que é emitida pela fonte (Sol) se propaga pela atmosfera até atingir os alvos da superfície terrestre. Os componentes atmosféricos (gás carbônico, oxigênio, ozônio, vapor d'água e aerossóis) interferem

no percurso da REM até os alvos, podendo ocasionar efeitos de absorção e espalhamento dessa energia (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

A energia que, efetivamente, é emitida pela fonte e que incide sobre a superfície de um alvo pode ocasionar três tipos básicos de interações: reflexão, absorção e transmissão. A proporção desses mecanismos varia para diferentes alvos terrestres, dependendo do tipo e condição do material e do comprimento de onda da radiação incidente (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

O sensoriamento remoto gerador de imagens de satélite são, de modo geral, de menor custo em relação a outras tecnologias como as fotografias aéreas, que ainda são o estado da arte para mapeamento em escala de detalhe. Porém, as imagens de satélite captam áreas muito maiores, em nível de abrangência global, e têm disponibilidade com registros arquivados e com facilidade em programar a amostragem de uma região. Os satélites periodicamente revisitam a mesma área em tempos que variam de minutos a dias e facilitam o monitoramento de qualquer região (PARANHOS FILHO *et. al.*, 2008).

3.3.2. Sensores do satélite Landsat

As imagens Landsat encontram-se no catálogo de imagens do INPE com imagens coletadas desde a década de 70 até os dias atuais, a partir do programa espacial Landsat desenvolvido pela NASA (*National Aeronautic sand Space Administrativo*).

No programa espacial foram construídos sete satélites dos quais serão utilizadas para este projeto imagens de dois satélites: Landsat-5 TM que foi lançado em 1984 e interrompeu sua operação em 2013, por falhas técnicas, caso raro na ciência de operação de satélites óticos, que registrou imagens por 29 anos. O Landsat-7 com sensor ETM+ que foi lançado e entrou em operação em 1999 e não opera desde maio de 2003. O mais recente satélite da seria que deu continuidade após todos os outros pararem de funcionar foi o Landsat-8, que foi lançado em 2013 e está em operação atualmente. Observam-se as características das imagens de cada satélite no Tabela 3.3.2.

O programa espacial do satélite Landsat é de longe o de maior sucesso para comunidade civil e o de maior uso e aplicação em todo o planeta.

Com uma pesquisa básica na internet é possível encontrar inúmeras publicações em centenas de países em quase todas as áreas de conhecimento científico. E o conhecimento gerado pelo Landsat ainda está em pleno desenvolvimento, com novos métodos de usos e aplicações.

Hoje, qualquer usuário de sensoriamento remoto consegue montar um banco de dados com imagens com evolução temporal de 30 anos, permitindo-se avaliar a dinâmica da superfície e, conseqüentemente, monitorar indicadores.

3.3.3. Sensores do satélite CBERS

O satélite Sino-brasileiro CBERS captou e disponibiliza dados de imagens de 1999 até 11 de março de 2010 quando o CBERS-2B encerrou as operações, sendo que no programa espacial sino-brasileiro foram lançados cinco satélites da série CBERS (1, 2, 2B, 3 e 4).

Tabela3.3.2. Características dos sensores TM e ETM+ do satélite Landsat

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução			Área imageada
		Espectral (μm)	Espacial	Temporal	
TM <i>Thematic Mapper</i>	Azul	0,45 – 0,52	30 m	16 dias	185 km ²
	Verde	0,50 – 0,60			
	Vermelho	0,63 – 0,69			
	Infravermelho próximo	0,76 – 0,90			
ETM+ <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>	Infravermelho médio	1,55 – 1,75	120 m TM 60 m ETM ⁺	16 dias	185 km ²
	Infravermelho termal	10,4 – 12,5			
	Infravermelho médio	2,08 – 2,35	30 m		
	Pancromático ETM ⁺	0,52 – 0,90	15 m ETM ⁺		
Landsat8	Aerosol costeiro	0,43 – 0,45	30	16	185 km ²
	Blue	0,45 – 0,51			
	Green	0,53 – 0,59			
	Red	0,64 – 0,67			
	Infravermelho próximo	0,85 – 0,88			
	Infravermelho de ondas curtas 1	1,57 – 1,65			
	Infravermelho de ondas curtas 2	2,11 – 2,29			
	Pancromática	0,50 – 0,68	15		
	Cirrus	1,36 – 1,38	30		
	Infravermelho termal 1	10,60 – 11,19	100		
	Infravermelho termal 2	11,50 – 12,51			

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2013)

É importante ressaltar que o programa espacial Sino-brasileiro lançou mais dois satélites da série CBERS para ser lançados, o CBERS 3 e 4 além do satélite AMAZONIA-1, sendo que o CBERS-3 não chegou a operar, pois teve falha técnica no lançamento e, foi lançado em dezembro de 2014 o CBERS 4, que tem programação para operar até 2018 (INPE, 2015). Esta programação resguarda a continuidade de uso de imagens em estudos e pesquisas nacionais por no mínimo 2 anos. As características dos sensores do satélite CBERS-2, 2B e 3 podem ser observadas na Tabela 3.3.3(a) e as características dos sensores do satélite CBERS-4 são apresentadas na Tabela 3.3.3(b).

O uso de imagens do satélite brasileiro CBERS para o monitoramento ambiental e de atividade na superfície terrestre é muito viável e importante para comitês de bacias, pois diminui em muito o custo de fiscalização e o monitoramento em comparação com os vôos de helicóptero e aviões atualmente utilizados em algumas regiões.

As imagens dos satélites Landsat e CBERS estão disponíveis sem custo na internet no website do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Tabela 3.3.3(a). Características dos sensores dos satélites CBERS-2, 2B e 3

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Largura da Faixa Imageada
CCD	Pan	0,51 - 0,73	20 m	26 dias com visada vertical (3 dias com visada lateral)	113 km
	Azul	0,45 - 0,52			
	Verde	0,52 - 0,59			
	Vermelho	0,63 - 0,69			
	Infravermelho próximo	0,77 - 0,89			
HRC	Pancromática	0,50 - 0,80	2,7 m	130 dias na operação proposta	27 km (nadir)

Fonte: INPE (2007)

Tabela 3.3.3(b). Características dos sensores do satélite CBERS-4

Sensores	MUX	PAN	IRS	WFI
Bandas Espectrais	0,45-0,52µm (B) 0,52-0,59µm (G) 0,63-0,69µm (R) 0,77-0,89µm (NIR)	0,51-0,85µm (Pan) 0,52-0,59µm (G) 0,63-0,69µm (R) 0,77-0,89µm (NIR)	0,50-0,90µm (Pan) 1,55-1,75µm (SWIR) 2,08-2,35µm (SWIR) 10,40-12,50µm (TH)	0,45-0,52µm (B) 0,52-0,59µm (G) 0,63-0,69µm (R) 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 Bruto	68 Mbit/s	140 Mbit/s 100 Mbit/s	16 Mbit/s	50 Mbit/s

Fonte: INPE (2011)

3.3.4. Satélites RAPIDEYE

RapidEye é o nome comercial dado à missão formada por uma constelação de 5 satélites multispectrais (Tachys, Mati, Trochia, Choros e Choma), lançados em um único foguete russo (DNEPR-1) e controlados pela empresa alemã RapidEye AG. O diferencial oferecido pela RapidEye é a capacidade de produzir conjuntos de imagens de qualquer ponto da Terra em pouco tempo, devido ao período de revisita dos satélites serem de 24 horas (off-nadir) e 5,5 dias (nadir), subsidiando monitoramentos de eventos que necessitem de uma atualização de dados mais rápida, como na agricultura por exemplo (EMPRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2009).

Os sensores, chamados REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), foram instalados nos cinco satélites RapidEye e obtêm imagens da Terra em cinco faixas espectrais: azul (440-510nm), verde (520-590nm), vermelho (630-685nm), red-edge (690-730nm), sensível a alterações do teor de clorofila das plantas) e infravermelho próximo (760-850nm). A área imageada é de 77,25 km, a resolução espacial é de 6,5 metros e 5 metros nas ortoimagens. A resolução radiométrica é de 12 bits (EMPRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2009). No Tabela3.3.4 observam-se as características do sensor dos satélites RapidEye.

Tabela3.3.4.Características do sensor dos satélites RapidEye

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (nm)	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
REIS (<i>RapidEye Earth Imaging System</i>)	Azul	440 - 510	6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens	24 horas (off-nadir) e 5,5 dias (nadir)	77,25 km
	Verde	520 - 590			
	Vermelho	630 - 690			
	Red-Edge	690 - 730			
	Infravermelho próximo	760 - 880			

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2009)

3.3.5. Sensores do satélite WorldView-2

O WorldView-2 se junta aos satélites existentes da DigitalGlobe em órbita – QuickBird e WorldView-1 – para viabilizar uma capacidade anual de imagens três

vezes maior do que a massa terrestre, sendo uma novidade do setor como o primeiro satélite comercial de alta resolução de oito bandas multiespectrais.

O sistema WorldView-2 é capaz de recolher até 975.000 quilômetros quadrados de dados por dia em uma resolução pancromática de 0,5 metros e no multiespectro de 1,8 metros, além de incorporar quatro bandas multiespectrais clássicas (vermelho, azul, verde e infravermelho próximo) e também incluir quatro novas bandas (litoral, amarelo, vermelho borda, infravermelho próximo-2)(EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2012).

A capacidade adicional nas bandas multiespectrais suporta níveis de identificação e extração de recurso e exibe com maior precisão a cor vista por humanos, o que deve melhorar a velocidade e a taxa das imagens oferecidas para os mercados governamentais e comerciais, devido a sua capacidade de coleta ser em grande escala e as taxas de revisita ser diária (Tabela3.3.5).

Tabela3.3.5.Características do satélite WorldView-2

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal
Pan-cromático	Pancromática	450 - 800 nm	0,46 m (nadir) / 0,52 m a 20° off-nadir	1,1 dias no nadir 3,7 dias a 20° off-nadir
Multi-espectral	Litoral	400 - 450 nm	1,84 m (nadir) / 2,08 m GSD a 20° off-nadir	
	Azul	450 - 510 nm		
	Verde	510 - 580 nm		
	Amarelo	585 - 625 nm		
	Vermelho	630 - 690 nm		
	Vermelho Borda	705 - 745 nm		
	Infravermelho próximo1	770 - 895 nm		
Infravermelho próximo 2	860 - 1040 nm			
Resolução Radiométrica	11 bits			
Área Imageada	16,4 km (nadir)			

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2012)

3.3.6. Índices de vegetação

Os índices de vegetação (IVs) são analisados em sensoriamento remoto para medir o comprimento de onda que reflete ao interagir com a cobertura vegetal na superfície e extraem das imagens diferentes variáveis de comportamento, padrão, uniformidade e a situação do alvo. Desta forma, vários sensores abordo de satélites medem e registram a luz refletida da superfície terrestre. Alguns comprimentos de onda do visível absorvem bastante a vegetação, enquanto que o infravermelho é invisível ao olho humano, pois tem muita reflectância (JENSEN, 2009).

Aplicando-se fórmulas matemáticas (algoritmos) é possível transformar dados brutos de satélite sobre refletâncias em índices de vegetação. Um índice de vegetação é um indicador com capacidade de quantificar a densidade, uniformidade, anomalias e interferências físicas na vegetação (JANSEN, 2009).

Trabalhando com indicadores de degradação ambiental, Hadeel *et. al.* (2011) fez análise multitemporal dos índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), *Normalized Differential Salinity Index* (NDSI), *Top soil Grain Size Index* (GSI), em uma região no sudeste do Iraque, para avaliar indicadores de degradação ambiental em relação a uso e cobertura do solo, onde constatou modificações e degradação principalmente na cobertura vegetal.

As características da vegetação como, estrutura, espaçamento entre folhas, entre plantas, formato das folhas, arquitetura do dossel, densidade, espécie, variedade, estrutura celular, época no ano, posição geográfica, ângulo da imagem em relação ao satélite são informações que necessitam ser consideradas dependendo na aplicação em monitoramento(PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

3.3.7. Modelo Digital de Elevação

Os dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)é resultado de um programa desenvolvido em um projeto cooperativo entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), ambos dos Estados Unidos, a DLR (*German Aerospace Center*, Agência Espacial Alemã) e ASI (*AgenziaSpaziale Italiana*, Agência Espacial Italiana) com o objetivo de gerar um MDE de toda a superfície da Terra usando a interferometria (CREPANI; MEDEIROS, 2004).

Com a geração desses dados, foi disponibilizado para o Brasil um MDE com resolução espacial de 90 metros. São dados importantes para o mapeamento topográfico digital.

Para aumentar o potencial de uso e aplicação dos dados SRTM no Brasil foi desenvolvido o projeto TOPODATA. Os dados com resolução de 90m foram processados por método geoestatístico de krigagem que gerou novos dados de 30m de resolução espacial e produtos geomorfométricos, como variáveis de declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal, curvatura vertical e insumos para o delineamento da estrutura de drenagem de todo o território nacional (VALERIANO, 2008).

Todos os produtos gerados pelo projeto TOPODATA têm potencial de aplicação em todas as áreas de meio ambiente. Conforme estudo realizado com padrões de fitofisionomias, correlacionaram dados geomorfométricos extraídos do TOPODATA com a formação de vegetação nativa distribuída, conforme variação da forma e topografia do relevo (BISPO, VALERIANO, KUPLICH, 2010).

3.3.8. Sistema GPS

O GPS (*Global Positioning System*) é uma tecnologia útil para uma série de atividades que necessita de posicionamento, as quais se podem citar aquelas relacionadas a cartografia, meio ambiente, controle de frota de veículos, navegação e marítima, geodinâmica, agricultura, etc (MONICO, 2001). Dois tipos de GPS são os mais usados no mercado de trabalho e pesquisa: os equipamentos de navegação, com aplicações diversas com precisão acima de 2 metros, e os geodésicos, que tem precisão submétrica e são utilizados em levantamento que necessita de precisão e acurácia sem variações e erros (JEREZ;ALVES; SOUZA,2015).

O sistema GNSS é utilizado por 3,6 bilhões de pessoas, e com a popularização de dispositivos que tem antena GPS está em fraca expansão, chegará a 7 bilhões de usuários em 2019 (GSA, 2015).

3.3.9. Vulnerabilidade ambiental

O significado de vulnerabilidade não é consenso em estudos sobre o tema, dificultando a comparação dos resultados de trabalhos semelhantes. Metzger et

al.(2006) e Schoteret *al.* (2004) relacionaram o conceito ao grau de susceptibilidade de um sistema aos efeitos negativos provenientes de mudanças globais. Nesse estudo, a susceptibilidade está relacionada ao grau de exposição de processos erosivos, à sensibilidade (avaliada a partir de medidas dos impactos ambientais potenciais resultantes da exposição) e evidenciar como resposta para gestão do comitê adotar ações de ajuste às mudanças dos indicadores.

Como indicador de risco à contaminação de aquíferos, Barreto (2006), ao revisar métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, utilizou um método que relaciona esse conceito a características do meio físico que tornam aquíferos mais ou menos sensíveis à contaminação por nitrato e agrotóxico.

As características do ambiente, como densidade populacional, uso e ocupação do solo, foram relacionadas por Tixieret *al.* (2005) com a vulnerabilidade ao grau de exposição de pessoas e ambientes naturais a pressões (gases tóxicos, lançamento de efluentes etc.) que partem de uma unidade industrial.

Para gerar a carta de vulnerabilidade são utilizadas técnicas cartográficas de sobreposição, *overlay mapping*, ou superposição de mapas, que consistem em um conjunto de procedimentos para a confecção de uma série de cartas temáticas, uma para cada compartimento ambiental, que são utilizadas nos zoneamentos e gerenciamentos ambientais por meio da localização e avaliação da extensão de impactos, da determinação de aptidão e uso de solo, da detecção ou determinação de áreas de relevante interesse ecológico, cultural, arqueológico e socioeconômico (CUNHA; GUERRA, 2000).

Com os dados processados em SIG podem-se diagnosticar os possíveis problemas ambientais ao analisar uma carta de vulnerabilidade, permitindo recomendações para um melhor aproveitamento das atividades de controle e proteção (GRIGIO, 2003).

Neste método, cada mapa de entrada é utilizado como uma evidência que recebe um peso diferente dependendo da importância para com a hipótese em consideração. O resultado será uma carta com áreas que expressam um grau de importância relativa, por meio dos valores numéricos de saída (CÂMARA *et al.*, 2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

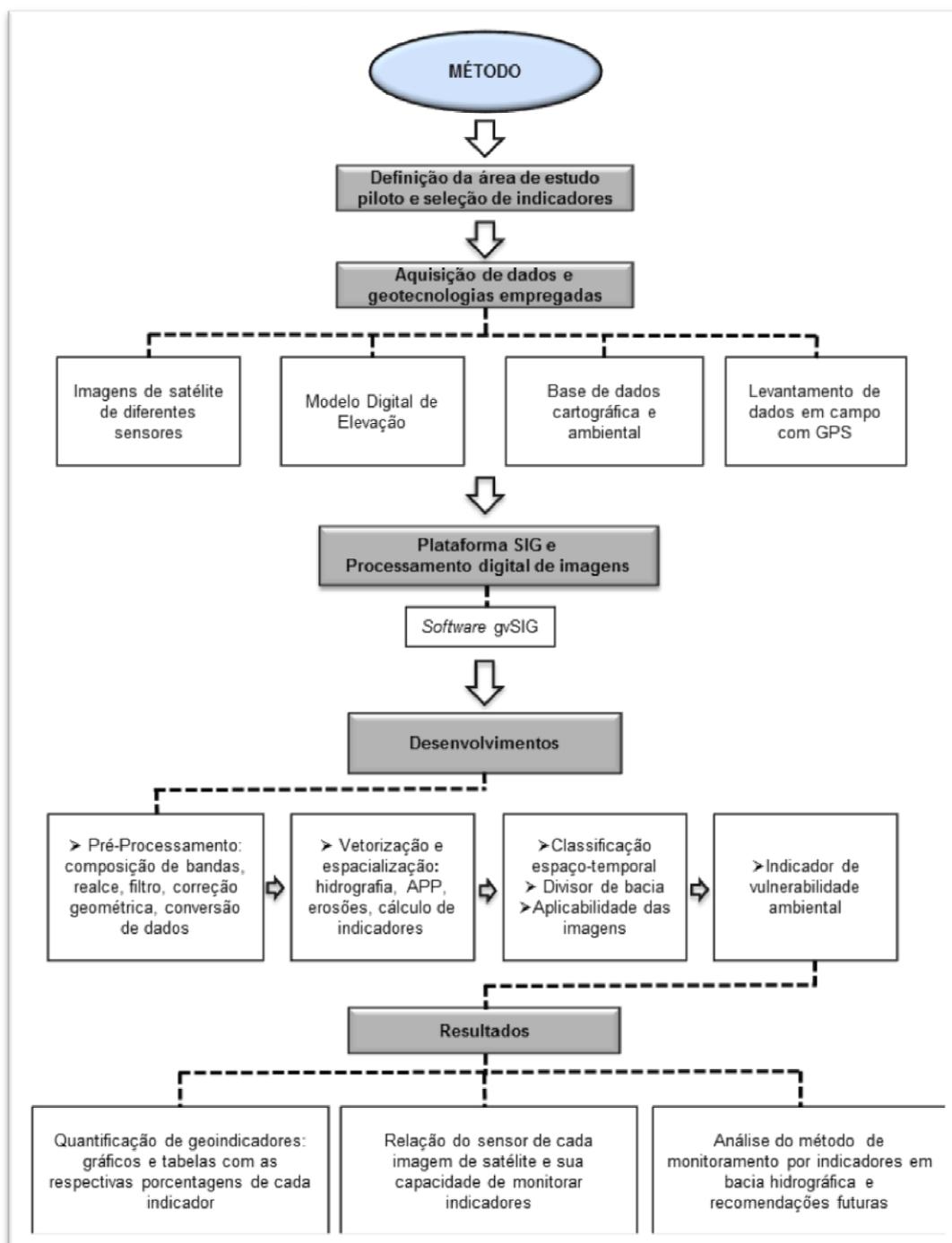
Para atingir os objetivos propostos foi utilizada plataforma SIG para estruturar uma base de dados com diferentes origens, a partir dos dados reunidos por consulta pública nos órgãos de Estado, Município, *websites* e aquisição de dado (imagem) em empresa comercial.

Para a organização da base de dados foi necessário configurar e adequar os dados com reprojeção cartográfica e conversão de formatos digitais de vetores e imagens. Adotaram-se os seguintes padrões para os itens:

- a) Cartografia
 - Projeção geográfica UTM
 - Datum WGS 84
- b) Imagens
 - Formatos tiff e geotiff
- c) Vetores
 - Formato shapefile (ESRI)

Após a organização da base, foram selecionados os indicadores e realizadas as análises para validar a quantificação e o monitoramento, com imagens de satélite que se difere entre si segundo suas características, sendo umas das principais a variação na capacidade de detecção de alvos espectrais (água, área úmida, área urbana, estruturas antrópicas, erosão, solo exposto, diversos tipos de vegetação, dentre outros). Na Figura 4 é mostrado o fluxograma metodológico da pesquisa com a sequência das análises realizadas.

Figura 4. Sequência metodológica do monitoramento dos indicadores na pesquisa

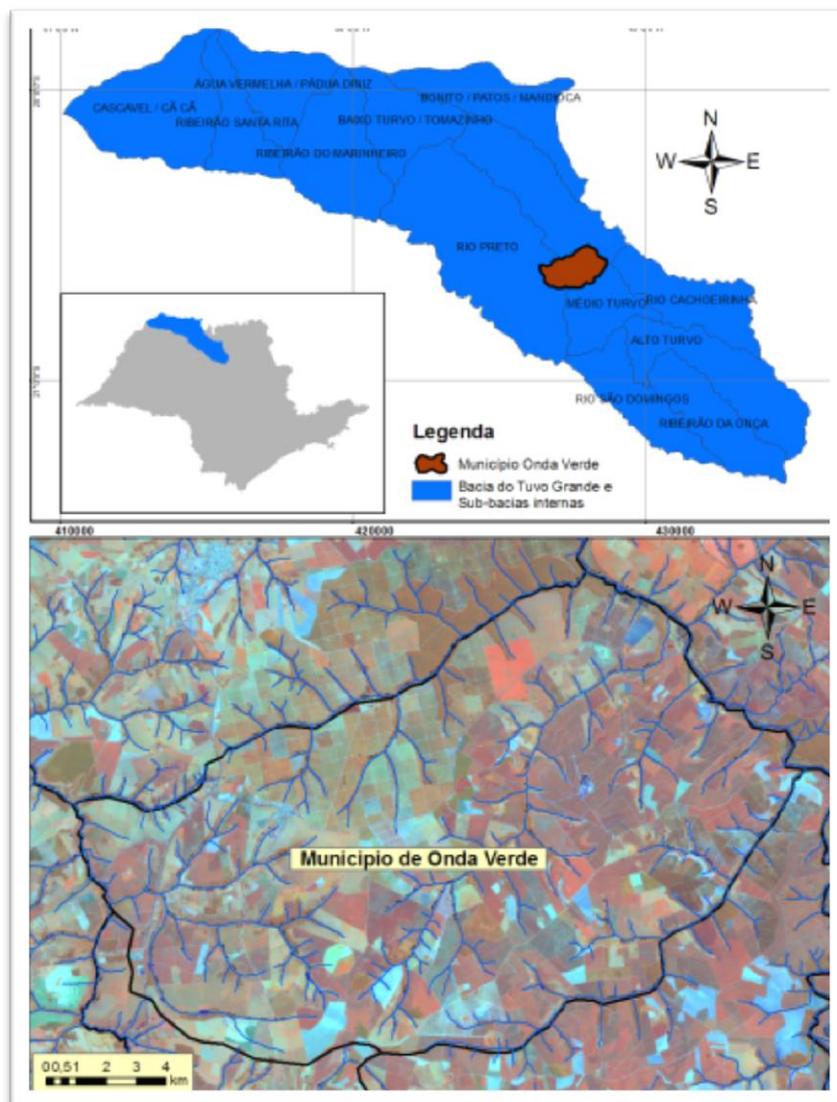


Fonte: O Autor

4.1. ESCOLHA DA ÁREA PILOTO

A área de estudo compreende o Município de Onda Verde e as sub-bacias dos córregos no seu território. Os córregos estão localizados entre a sub-bacia do Médio Turvo que faz limite com a sub-bacia do Rio Preto, conforme Figura 4.1.

Figura 4.1. Localização da área de estudo (Landsat-5 TM, R4-B5-G3, 2006)



Fonte: O autor

A escolha dessa área foi motivada por uma análise do relatório diagnóstico e do plano de bacia do CBH-TG (CPTI; IPT, 2009), onde se verificaram locais com problemas de degradação ambiental, como desmatamentos, erosões, conservação de solo, ocupação agrícola e empreendimentos para recuperação ambiental deliberados pelo CBH-TG (CPTI; IPT, 2009). Neste contexto, o Município de Onda Verde apresentou um cenário propício para estudo e possui área pequena que facilita inspeção e levantamento de campo.

A UGRHI-15 localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo. Possui uma área de aproximadamente 15.925 km² com 66 municípios (CPTI; IPT, 2009).

4.2. SELEÇÃO DOS INDICADORES DE INTERESSE

O método de identificação de indicadores é recente no Brasil, somente em 1998 foi desenvolvido o modelo de indicadores mundialmente, que definiu três formas de indicador, Pressão – Estado – Resposta (PER), desenvolvido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico(OECD) em 1998 para a avaliação de indicadores ambientais globais, vem sendo aceito e adotado internacionalmente. Esse modelo fundamenta-se no conceito de causalidade: As atividades incidem pressão no meio ambiente, que provoca alterações físico-químicas dos recursos naturais disponíveis, ou seja, o ambiente passa por modificações em seu estado. São três as classes de divisão de indicadores ambientais especificados a partir desse modelo (FIDALGO, 2003):

- a) Indicadores de pressão ambiental: descrevem as pressões oriundas das atividades humanas sobre o ambiente.
- b) Indicadores de estado: referem-se à qualidade do ambiente, conforme os parâmetros que nível de qualidade para cada recurso natural;
- c) Indicadores de resposta: são medidas e tomadas pela sociedade em decorrência das modificações ambientais, correspondendo a mitigação ou prevenção dos efeitos de ações do homem sobre o ambiente

Os indicadores têm o objetivo de agregar e quantificar dados para tornar-se evidente a situação dos recursos naturais. Estes simplificam as informações referentes aos danos complexos de análise e facilita o processo de transformar dados em informação(ROMAGNOLLI, 2010).

No Brasil, o trabalho de construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável tem como base o movimento internacional liderado pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (CDS) das Nações Unidas. Foi iniciado a partir de 1992, colocou em marcha um programa constituído por diversas análises e intercâmbios de informações, para construir as disposições encontradas nos capítulos 8 e 40 da Agenda 21, que se referem à relação entre o meio ambiente, o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2012).

Os indicadores correspondem a ferramentas compostas por uma ou mais variáveis que, mostram significados mais amplos a respeito dos fenômenos a que se referem. Indicadores de desenvolvimento sustentável são instrumentos

fundamentais para orientar e monitorar, assim como, a avaliação do progresso obtido em direção ao desenvolvimento sustentável (IBGE, 2012).

Os indicadores são parâmetros selecionados criteriosamente, definidos de acordo com as condições da atividade estudada. Normalmente, para interpretação, efetuam-se tratamentos aos dados originais como médias aritméticas, medianas, entre outros (ROMAGNOLLI, 2010).

Os indicadores atendem múltiplos fins. Por métodos de cálculos, aritméticos ou de tomada de decisão permitem extrair índices que possibilitam a simplificação de alguns parâmetros. Dentre as diversas aplicações de indicadores podem ser citadas: tomada de decisão, alocação de recursos, cumprimento de normas ou critérios legais e investigação científica (COSTA, 2003 *apud* MARQUES, 2006).

As medidas de indicadores são extraídas de variáveis, sendo correspondente em mais de um dado. O somatório de resultados oriundos de atributos individuais pode gerar um índice (LOURENÇO, 2008).

A construção de indicadores exige etapas específicas para definir a construção de indicadores, conforme as seguintes: Segundo seleção dos itens, avaliação de suas relações empíricas, combinação dos itens no indicador e a validação do indicador (BABBIE, 1989 *apud* LOURENÇO, 2008).

Apresenta-se uma breve revisão, proposta por Lourenço (2008), de cada uma das etapas mencionadas acima.

1. Seleção de itens: Cria-se um indicador para medir uma determinada condição. A validade lógica do item é o primeiro critério na seleção.

2. Relações binárias entre itens: A análise das relações binárias entre os itens deve ser realizada a fim de que se determine o tipo e a força da relação empírica que os pares destes possuem entre si.

3. Análise multivariada: O principal objetivo da construção de um indicador é o desenvolvimento de um método adequado para a classificação do alvo da pesquisa de acordo com alguma variável. Um indicador deve ser capaz de demonstrar distintas avaliações quando empregado em localidades diversas.

4. Pontuação do indicador: Uma vez definidos os itens que irão compor o indicador, duas decisões deverão ser tomadas. A primeira, diz respeito à determinação do intervalo de variação do indicador e do número de ocorrências em cada ponto do índice. Quanto maior for o intervalo entre os dois extremos, menor o

número de ocorrências em cada extremo. A segunda decisão refere-se ao valor a ser estabelecido para cada item do indicador. Neste momento, deverá ser decidido se cada item possuirá o mesmo valor ou se um sistema de pesos será adotado.

No estudo aplicado deste trabalho, os indicadores ambientais escolhidos, preliminarmente, constam no Relatório de Revisão do Plano de Bacia do Comitê de Bacia do Turvo/Grande realizado em 2009 (CPTI; IPT, 2009) e no Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007 (SÃO PAULO, 2006). Esses indicadores, forma definidos de acordo com a política ambiental do plano de recursos hídricos do Estado de São Paulo.

Os critérios foram: (1) indicadores que possibilitam monitorar com sensoriamento remoto e (2) indicadores relacionados aos principais problemas da área piloto conforme relação abaixo. A seguir listam-se os indicadores:

❖ **Indicador de uso e cobertura do solo**

- 1) Proporção de área agrícola em relação à área total da bacia (%)
- 2) Proporção de área com cobertura vegetal nativa em relação à área total bacia (%)
- 3) Proporção de área com silvicultura em relação à área total da bacia (%)
- 4) Proporção de área de pastagem em relação à área total da bacia (%)
- 5) Proporção de área urbanizada em relação à área total da bacia (%)
- 6) Proporção de área de campo antrópico em relação à área total da bacia (%)

❖ **Indicador de erosão e assoreamento**

- 1) Quantidade de feições erosivas lineares em relação à área total da bacia (n°/km^2)
- 2) Área de solo exposto em relação à área total da bacia (%)
- 3) Extensão anual de APP desmatada (km^2/ano)

❖ **Indicador de recuperação de áreas degradadas**

- 1) Proporção de áreas com voçorocas recuperadas (%)
- 2) Unidades de conservação implantadas (n°)

❖ **Indicador de áreas protegidas**

Área total de unidades de conservação, por tipo (km^2)

4.3. GEOTECNOLOGIAS EMPREGADAS

No contexto abrangente das Geotecnologias, foram utilizados, neste estudo, dados de diferentes origens e formatos: dados de sensoriamento remoto dos satélites de média resolução espacial Landsat, CBERS, IRS, Sentinel-2A e de alta resolução espacial RapidEye, WorldView-2; base cartográfica digital; Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); *software* gvSIG; GPS de navegação e mapeamento GIS; *software* de pós-processamento de dados GPS, dados de campo para avaliação do meio físico ambiental e da cobertura e uso do solo.

4.3.1. Imagens de satélite

As imagens dos satélites Landsat, CBERS e IRS estão disponíveis na base de dados de domínio público do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e o Sentinel-2A (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2016) no *website* da Agência Espacial Europeia. As imagens do satélite WorldView-2 e RapidEye são comercializadas e a compra é realizada por km² de imagem.

Para acesso as imagens gratuitas o usuário precisa realizar um simples cadastro no site e acessa-lo. No site o usuário tem a opção de selecionar o satélite e o sensor de interesse e no período de desejado. Nas imagens comerciais, deve-se entrar em contato com as empresa e enviar um arquivo digital, KML ou SHAPE FILE da região de estudo e a empresa retornará dizendo quais as imagens disponíveis para determinada região e período que elas foram registradas. Normalmente, as empresa que revendem essas imagens no Brasil, vendem um mínimo de área partido de 50 km².

4.3.2. Modelo Digital de Elevação (MDE)

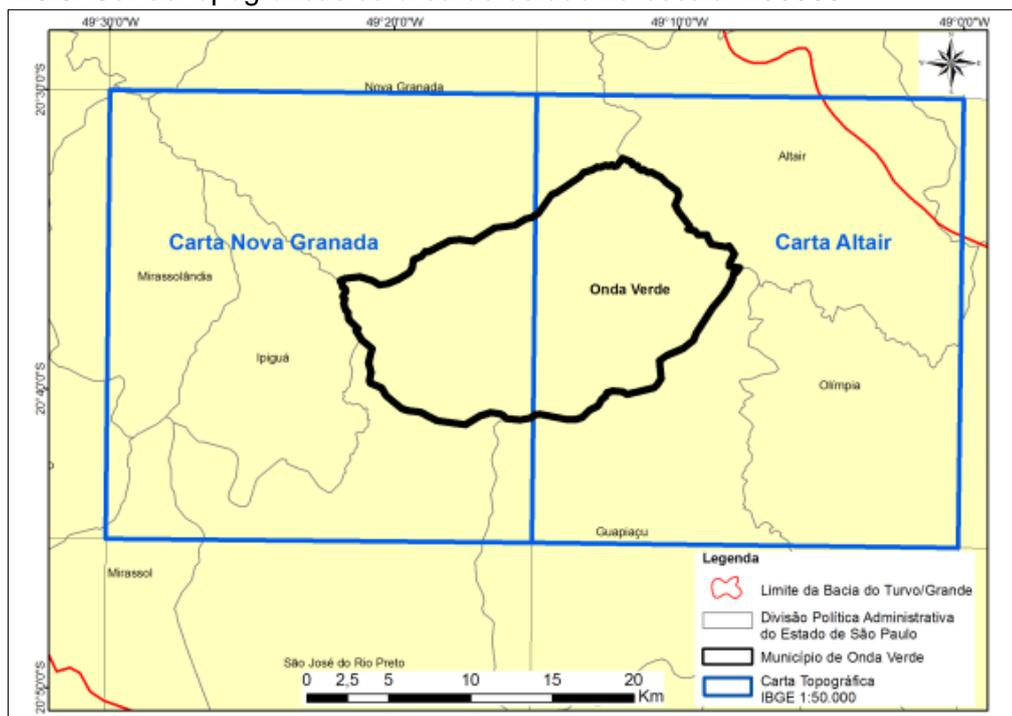
Adotou-se o DEM do Projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, originário da missão SRTM, disponível em domínio público no *website* do Projeto TOPODATA, no formato raster (GeoTIFF) e com resolução espacial de 30 metros (INPE, 2008).

Os dados de elevação têm sido comumente usados para traçados de divisores de bacias, análise geomorfológica e morfometria de bacias hidrográficas.

4.3.3. Base de dados digital

O CBH-TG disponibilizou uma base cartográfica digital que abrange a área de estudo com dados de hidrografia e topografia, na escala 1:50.000, digitalizadas a partir de duas cartas topográficas do IBGE: Carta Nova Granada (SF-22-X-B-IV) e Carta Altair (SF-22-X-B-IV-2), conforme Figura 4.3.3 (IBGE,1972).

Figura 4.3.3. Cartas topográficas da área de estudo na escala 1:50000



Fonte: O autor

Foram utilizadas as informações de IPT (1981), contem em seu acervo dados digitais da área de estudo, na escala 1:250.000, como solos, geologia, geomorfologia, vegetação, áreas de unidades de conservação, suscetibilidade a processos erosivos, vulnerabilidade a contaminação de aquíferos, clima, aquíferos e potencialidade de água subterrânea. Dados de malha viária e áreas urbanas também foram inseridos na base de dados.

4.3.4. Sistema GPS para coleta de informações em campo

Nesta pesquisa utilizou-se equipamento GPS de navegação para suporte de campo e GPS de mapeamento cadastral para coleta de informações ambientais e alimentação da plataforma SIG.

No âmbito dos *softwares* de geoprocessamento e SIG existem muitas opções para aplicações em meio ambiente. Para o processamento de informações, dados, levantamento em campo e estruturação da base de dados foi aplicado o programa gvSIG, versão 1.11 (IVER TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN, 2011) e 1.10 OADE – *Oxford Archaeology Digital Edition* (OXFORD ARCHAEOLOGY; UNIVERSITY OF BERN, 2010). O *software* é uma plataforma livre disponível gratuitamente pela Universidade de Valencia da Espanha.

4.4. ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

Para trabalhar com todas estas informações é necessária a preparação da base de dados com imagens e mapas digitais padronizados e organizados, para proceder à extração de informações, conforme itens seguintes.

4.4.1. Armazenamento de dados

Dados de diferentes origens, formatos e projeções cartográficas foram importados na plataforma SIG. Após a importação destes foi necessário padronizar o *datum* e a projeção. Neste estudo adotou-se o sistema cartográfico WGS 84 e a projeção em UTM (*Universal Transversa de Mercator*). Os dados em formato CAD (.dwg) utilizados foram transformados para o formato SHAPE (.shp) de SIG.

4.4.2. Composição de imagens de satélites

A etapa da composição das bandas espectrais das imagens de satélite foi realizada a fim de obter a imagem colorida em falsa cor RGB (*Red Green Blue*). Foi utilizada a composição utilizando a banda do infravermelho de todos os sensores de todos os satélites, correlacionado com a cor vermelho, processo de usar infravermelho é o mais aplicado em sensoriamento remoto para estudo de cobertura da terra. A etapa de composição requer uma atenção importante na aplicação do realce da imagem, que varia em todos os programas de sistema de informações geográficas, ou seja, cada programa tem mais de um algoritmo que realça imagem, existem diferenças entre os algoritmos que precisam ser analisados. Também é necessário testar diferentes valores de realce para adaptar a melhor interpretação da imagem pelo usuário e os alvos de interesse.

4.4.3. Recorte e georreferenciamento

Um quadrante sobre a área de estudo foi delimitado com fins de padronização do tamanho do recorte da área de interesse em todas as imagens de satélite utilizadas. As imagens dos satélites RapidEye e WorldView-2 foram adquiridas no recorte da área desejada. Trabalhar com o quadrante da área desejada facilita e não sobrecarrega os processamentos dos dados pelo computador, pois uma imagem de satélite original após a composição chega 1 giga byte de tamanho ou maior dependendo do sensor. Em todo processamento realizado na imagem gera-se uma nova imagem do tamanho da original.

Para realizar a correção geométrica das imagens do satélite Landsat-5, CBERS e IRS foi necessário estruturar uma base cartográfica confiável e precisa para obter bons resultados. Neste caso, as imagens Landsat, ortorretificadas e processadas pelo projeto GeoCover da NASA, disponíveis no *website Global Land Cover Facility* (GLCF, 2000), foram adotadas como imagens de referência para o georreferenciamento.

As imagens RapidEye, WorldView-2 Sentinel-2 também fornecidas como ortorretificadas, contribuíram para aferição do georreferenciamento. Estipulou-se o controle de um erro máximo de 1 pixel de deslocamento para as imagens durante o processamento das informações no *software gvSIG*.

4.5. APLICABILIDADE, IDENTIFICAÇÃO E CÁLCULO DE INDICADORES

Trabalhos precedentes foram consultados, a fim de delinear a definição das características das diferentes imagens para a área de estudo. Pretendeu-se identificar alvos de forma visual e por classificação temática visíveis nas imagens e associá-los aos indicadores ambientais selecionados neste estudo, com mapeamento em laboratório e validação em campo.

A escala de mapeamento em sensoriamento remoto está relacionada ao que se pretende extrair ou identificar nas imagens, baseada na resolução espacial ou tamanho do pixel da imagem. Como exemplo, o tamanho do pixel das bandas espectrais na imagem do satélite Landsat é de 30 x 30 metros. Logo, a escala de mapeamento, neste caso, deve considerar essa resolução.

No que refere ao limite de detecção das imagens, ou seja, à capacidade da imagem em identificar alvos menores que o tamanho do pixel, verificou-se a resolução espacial e o comportamento espectral do alvo nos diferentes sensores.

Não existe um método único, a variação na detecção de alvos é de uma área para outra, ou seja, o mesmo alvo pode ser identificado em uma área e na outra não. Assim, analisando a possibilidade de mapeamento além da capacidade da resolução espacial, foram identificados e relacionados os tipos de alvos e a capacidade de identificação das imagens.

Para avaliação, aplicabilidade e limite de detecção das imagens em laboratório, foi necessário fazer um pré-processamento digital das imagens (PDI), baseado em algoritmos de realce, filtros, combinações de bandas espectrais, fusão, controle visual do operador e, se necessário, uso de outros algoritmos além dos relacionados.

4.5.1. Levantamento de dados em campo com GPS

Após o PDI iniciou-se o processo de identificação e mapeamento dos indicadores de modo não-automático, ou seja, aplicou-se a classificação para separar as áreas homogêneas na imagens e posterior calculo do indicador. Depois de classificar, é necessário validar os alvos identificados no laboratório em campo. Então, deslocou-se até a área de estudo para realizar a atividade validação em campo, percorrendo-se toda a área estudada, passando pelos locais dos alvos de interesse, fotografando e comparando com as imagens impressas em mãos. Considerando-se que a atividade de campo é de extrema importância, alguns cuidados prévios são necessários para o sucesso da atividade. Contudo, na atividade em campo deve-se realizar uma conferência detalhada de toda a rota, condições meteorológicas, configuração, armazenamento e número de equipamentos necessários para o trabalho, com pelo menos 2 dias antes da partida. Se a checagem não for criteriosa e houver alguma falha no processo, como por exemplo, esquecimento de equipamento de medição ou dado (planilha, mapa, carta), despreparo do roteiro a ser percorrido, pode haver prejuízo ou até inviabilizar a pesquisa em campo.

Para a atividade de campo, algumas etapas foram previamente planejadas:

- 1) Agendou-se a data com um mês e quinze dias de antecedência, tempo necessário para organizar todas as informações.
- 2) Realizou-se o tratamento das imagens em escalas e contrastes compatíveis para uma boa impressão no papel, levando-se em conta que a qualidade da imagem após a impressão, na maioria das vezes, não corresponde à mesma qualidade da imagem vista na tela do monitor. Antes de imprimir as imagens, foram feitos testes para averiguar a qualidade da impressão. Após os testes foram impressas 4 imagens em tamanho A3 com o objetivo de auxiliar no estudo realizado durante o campo.

Para coleta de pontos de controle e navegação foi utilizado o GPS da marca Trimble Juno SA (Figura 4.5.1(a)) que permite navegação com imagens de satélite e arquivos vetoriais carregados no plano de fundo da tela do aparelho. Neste foi inserida uma imagem Landsat-5, datada de 24/07/2011, como plano de fundo. Para inserir a imagem de satélite no equipamento comumente chamado de “Juno” foram necessários alguns processamentos básicos em virtude do tamanho da imagem original ser muito grande e o arquivo bruto não ter um contraste adequado.

O Juno utiliza sistema operacional *Windows Mobile* e sua capacidade máxima de armazenamento é de 8 GB. Sabendo-se que uma imagem de satélite Landsat com todas as bandas possui de 700 MB, sendo um arquivo muito pesado para o equipamento em questão, então utilizou-se o programa gvSIG 1.10 OADE (OXFORD ARCHAEOLOGY; UNIVERSITY OF BERN, 2010) para transformar a imagem de satélite, do formato .TIF para .ECW, o que reduziu a imagem para apenas 3 MB. O processo seguinte foi salvar e aplicar uma equalização na imagem para que no GPS a visualização tenha brilho e contraste consideráveis para o trabalho de campo. O teste de carregar no a imagem no GPS e testar a equalização da e posição geográfica da imagem em laboratório e fundamental para a calibração e uso em campo.

Para auxílio na navegação e identificação dos alvos em campo, utilizou-se o equipamento GPS Garmin Etrex 30 (Figura 4.5.1(b)), que tem como um dos seus inúmeros recursos o acesso às imagens de alta resolução do satélite *Birdseye*, o que possibilitou encontrar rapidamente os alvos de interesse no campo e foi

fundamental para certifica-se que o trajeto adotado em laboratório era correto nas estradas rurais.

O acesso às imagens é necessário o GPS considerado e realizar o pagamento de uma pequena taxa anual. Assim, a empresa proprietária do GPS disponibiliza gratuitamente no site da Garmim <http://www.garmin.com>, através do programa *BaseCamp*. Este programa permite que o usuário insira e crie rotas, pontos e caminhos, importe e exporte dados para o GPS. Em resumo, consegue-se elaborar um SIG com o programa exclusivo para navegação. Após o pagamento e ativação da conta, insere-se o GPS via cabo USB no computador, executa o programa *BaseCamp* e, automaticamente, o programa reconhece rapidamente o GPS. Quando conectado à internet, o usuário seleciona as imagens, por quadrante, e realiza o *download* dos dados (Figuras 4.5.1(c), 4.5.1(d), 4.5.1(e) e 4.5.1(f)).

No trabalho em campo, além dos equipamentos GPS, utilizaram-se também imagens impressas que são fundamentais para guiar-se e realizar anotações. O autor desta dissertação, juntamente com uma equipe auxiliar, percorreram toda a área, visitando os locais identificados nas imagens em laboratório. Registram-se os locais de interesse com GPS e máquina fotográfica e mediram-se a distância, o tamanho e as características físicas de alvos terrestres, por meio de uma trena tradicional de 50 m.

Figura 4.5.1(a). Equipamento GPS de navegação utilizado no trabalho de campo (Trimble Juno AS)



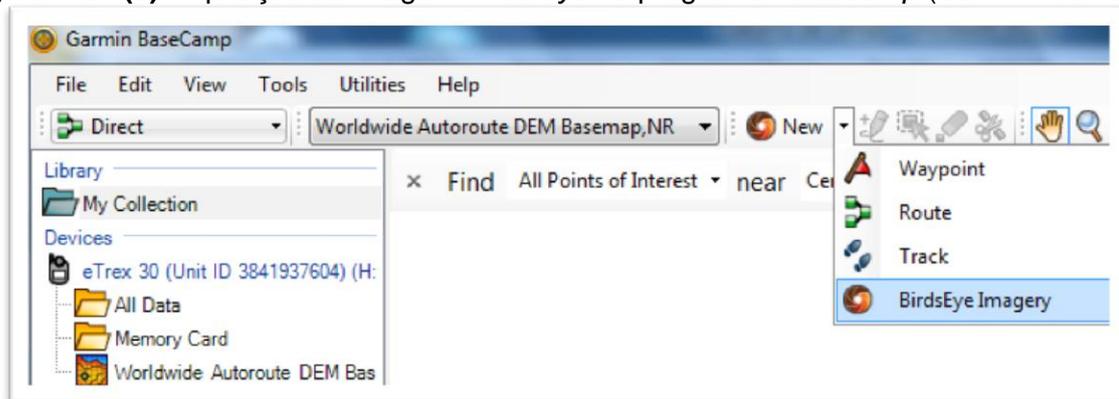
Fonte: O autor

Figura 4.5.1(b). Equipamento GPS auxiliar utilizado no trabalho de campo (GarminEtrex 30)



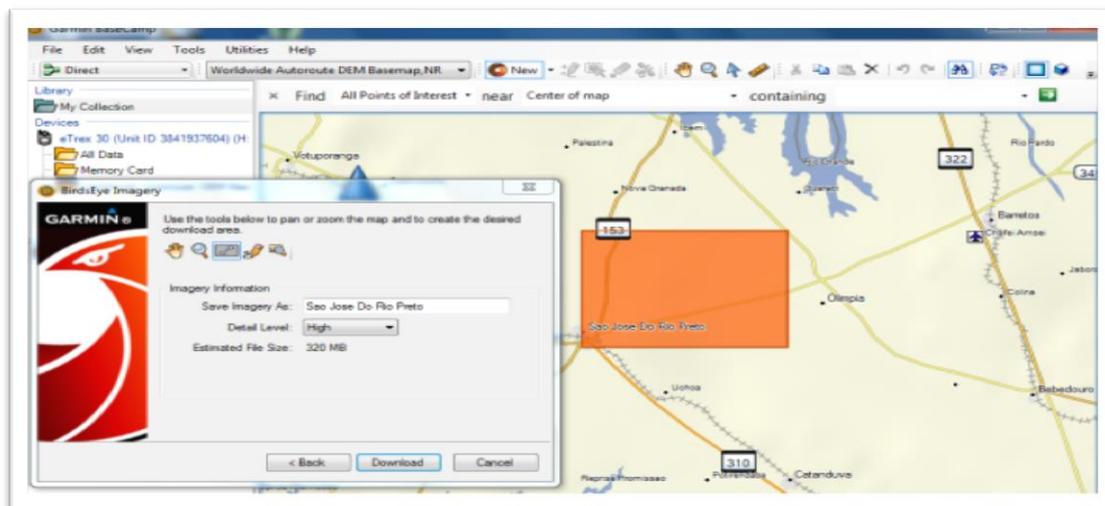
Fonte: O autor

Figura 4.5.1(c). Aquisição de imagem *Birds eye* no programa *BaseCamp* (GarminEtrex 30)



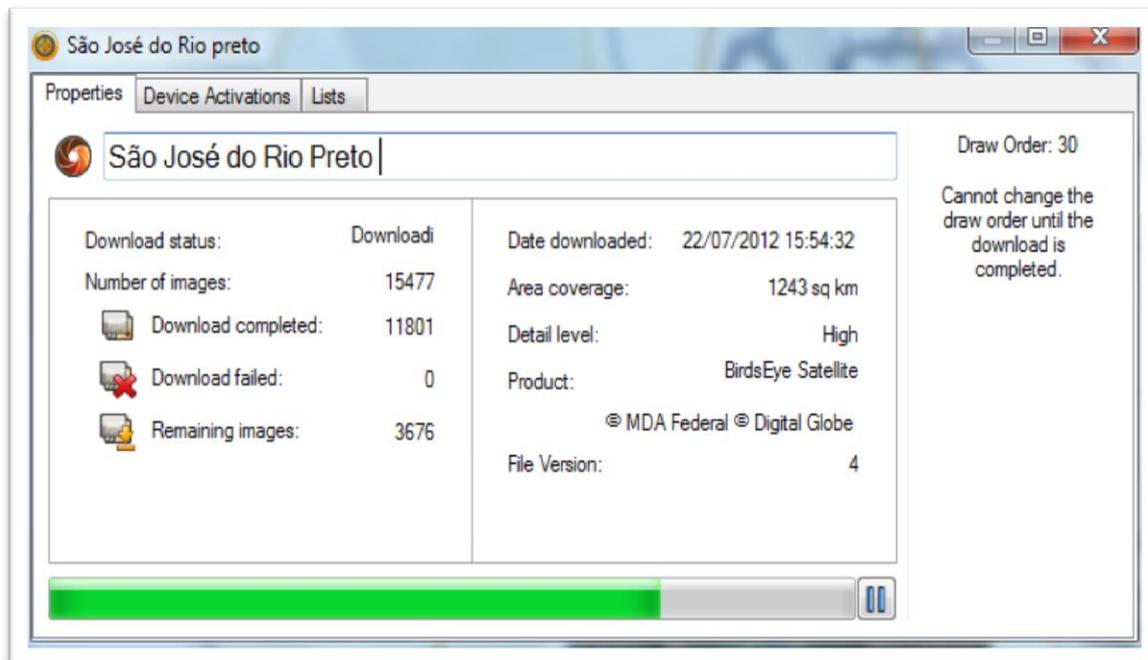
Fonte: O Autor

Figura 4.5.1(d). Seleção do quadrante de interesse no programa *BaseCamp* (GarminEtrex 30)



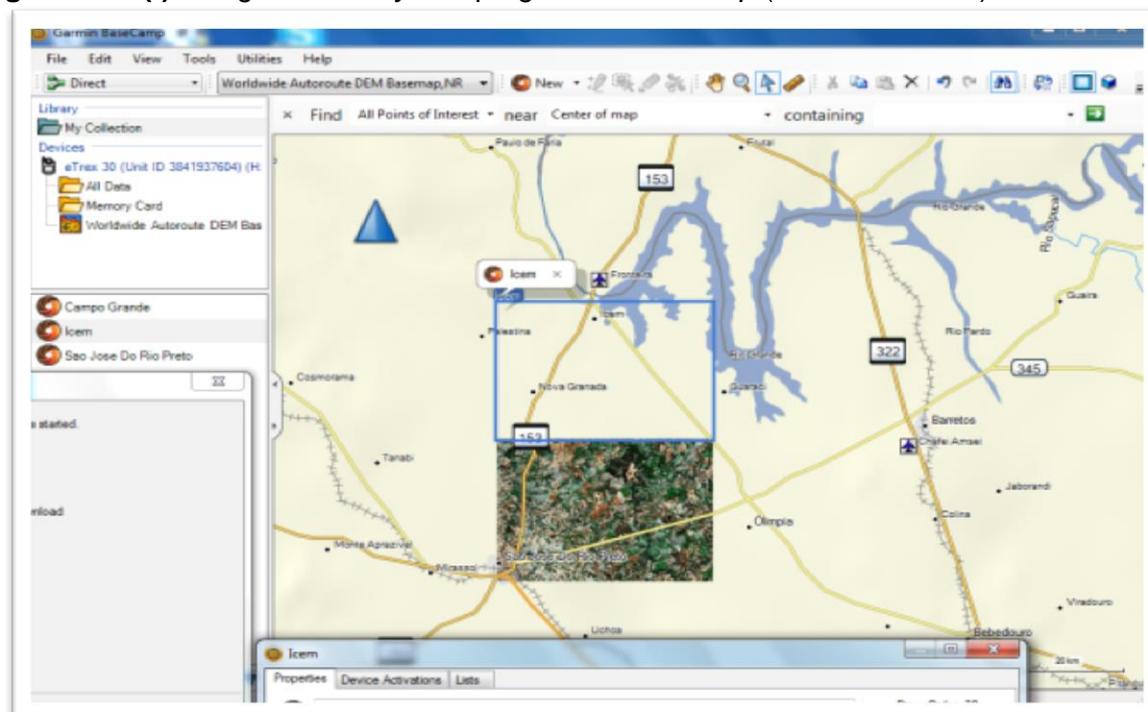
Fonte: O Autor

Figura 4.5.1(e). Download da imagem *Birdseye* no programa *BaseCamp* (GarminEtrex 30)



Fonte: O Autor

Figura 4.5.1(f). Imagem *Birds eye* no programa *BaseCamp* (GarminEtrex 30)



Fonte: O Autor

Comparam-se os dados obtidos no campo com os das imagens e, com estas informações, verificaram-se os indicadores passíveis de cálculo e monitoramento.

4.5.2. Escala de trabalho

As bases de dados geoambientais, adquiridas de diversas fontes, estão em quatro escala distintas: 1:250000, 1:100000, 1:50000 e 1:25000. Portanto, os resultados gerados por representações cartográficas, mapas e cartas estão em mais de uma escala.

O mapeamento feito através das imagens de satélite para o monitoramento e controle de empreendimentos na bacia em estudo, levou em consideração as seguintes características dos alvos terrestres: tamanho, forma, textura, localização geográfica, padrão e cor. Essas feições enquadram os objetos em uma determinada escala.

4.5.3. Cálculo dos indicadores geoambientais

Para o cálculo dos indicadores ambientais foram necessários os seguintes dados e informações apresentados nos tópicos a seguir.

4.5.3.1. Análise espacial da área de preservação permanente (APP)

A hidrografia dos córregos e rios nas imagens foi digitalizada no centro dos cursos hídricos. Seguinte à vetorização, executaram-se os cálculos a partir de algoritmos de espacialização (*Buffer*) das áreas de APP das matas ciliares de rios, córregos, áreas úmidas, lagos, represas e nascentes, de acordo com os valores de área do código florestal brasileiro (BRASIL, 1965). Após a espacialização, o indicador % de APP foi calculado através do cruzamento da classificação temática e recorte de pixels.

4.5.3.2. Classificação do uso e cobertura do solo

A análise do uso e cobertura do solo foi condicionada pelo processo de classificação supervisionada na imagem Landsat. Foram selecionadas amostras espectrais na imagem (Figura 4.5.3) para treinar estatisticamente o sistema de processamento, usando o algoritmo de classificação do gvSIG 1.10 OADE.

Este processo foi auxiliado pelos registros de feições ambientais coletados na visita técnica à área de estudo, seguindo o método adaptado proposto por Paranhos Filho (2000), que identificou 16 classes temáticas em imagens Landsat na bacia hidrográfica do Taquarizinho, no Mato Grosso do Sul. O mesmo método foi aplicado

para o Estado de São Paulo, mas exigiu a realização de um novo levantamento para identificação dos alvos e suas características, pois o tipo de cobertura do solo é diferente da cobertura identificada por Paranhos Filho (2000).

As classes de cobertura do solo que foram identificadas em campo, segundo nomenclatura de Paranhos Filho (2000), foram:

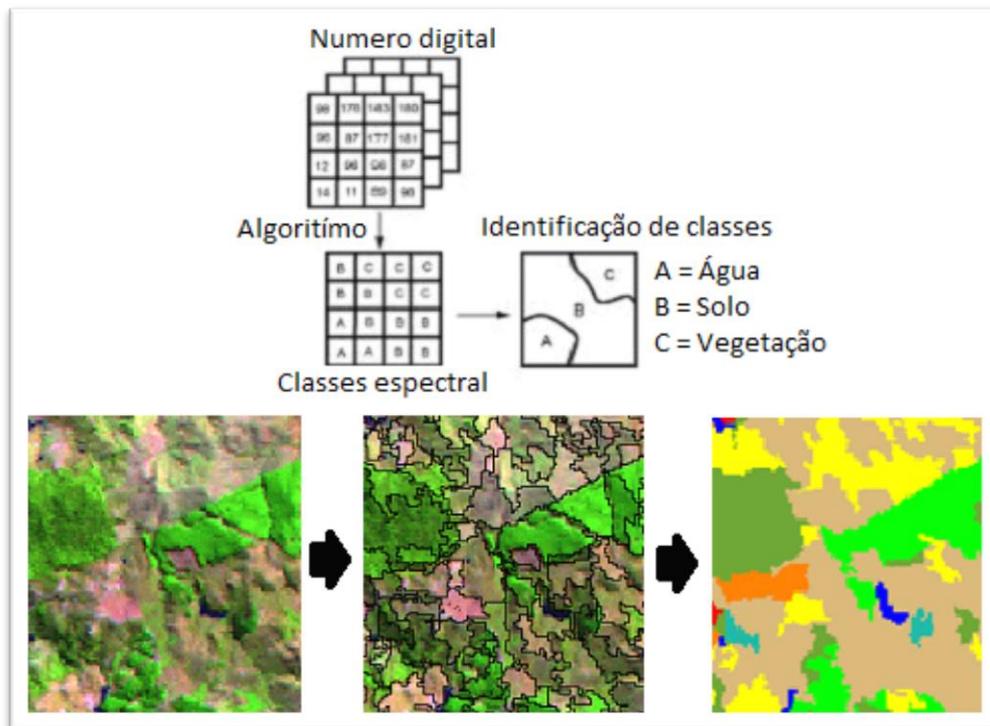
- For1: Cerradão
- For2: Mata de Ciliar
- Cv: Cerrado
- Ver1: Pastagem baixa
- Ver2: Pastagem Alta (seca)
- Sujo: Pastagem com vegetação arbustiva de pequeno porte
- Br: Área de Queimada
- Cel: Pastagem muito baixa e seca
- PV: Pastagem com verde vivo no visível
- Org: Solos orgânicos
- Lag: Corpos hídricos que não sejam rios
- Fiu: Rios
- Umi: Áreas úmidas
- Lat1: Primeiro tipo de latossolo exposto, em locais normalmente agrícolas
- Lat2: Segundo tipo de latossolo exposto, também em locais agrícolas
- Rif: Vegetação muito baixa ou rochas e solos arenosos expostos

4.5.4. Dinâmica espaço-temporal dos indicadores

Esta análise correspondeu a 4 (quatro) períodos considerados: o primeiro, 1986, ano da criação do CBH-TG; o segundo, 1995, nove anos após a criação do comitê; o terceiro, 2000, quatorze anos após a criação do comitê e; o quarto, 2006, completando 20 anos do período analisado.

A quantificação e avaliação espaço-temporal permitiu mapear a evolução da modificação de indicadores na paisagem ambiental na área de estudo.

Figura 4.5.3. Esquema de classificação temática espectral



Fonte: adaptada de Embrapa Monitoramento por Satélite (2012)

4.6. TRAÇADO DE DIVISORES DE BACIA

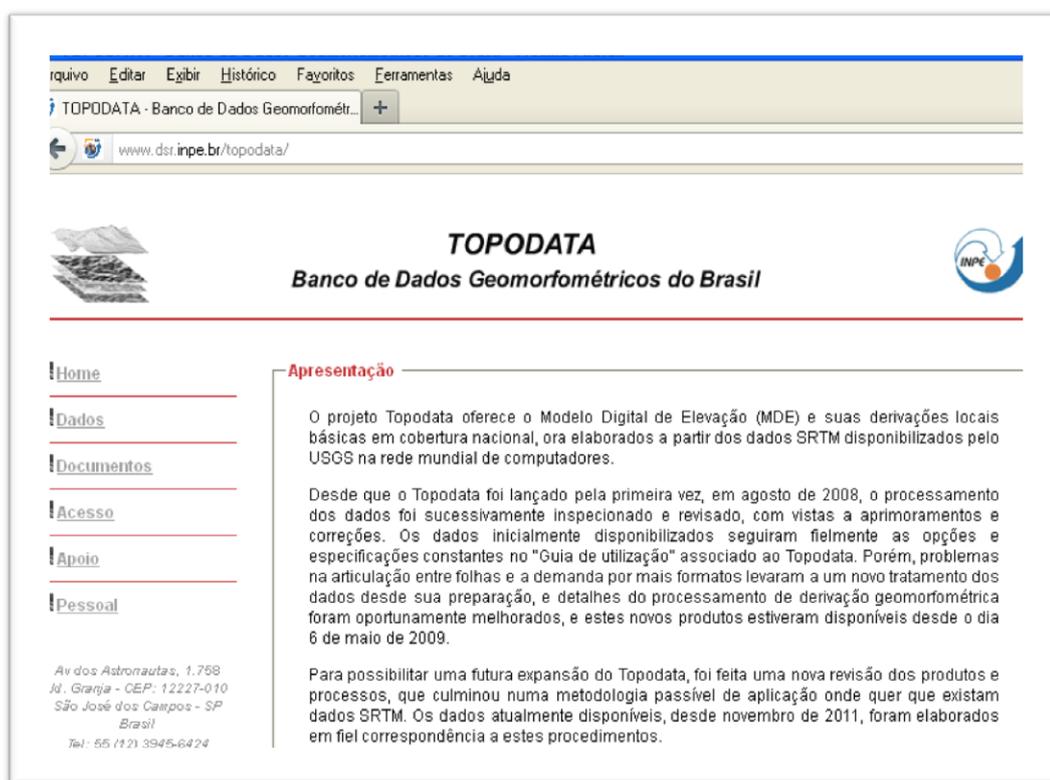
O Município de Onda Verde abrange as sub-bacias do Ribeirão do Sotéro, Córrego do Tapérão, Córrego da Abelha, Ribeirão São João, Ribeirão das Casinhas, todos afluentes do Rio Turvo. Outro divisor presente no município é o limite entre as sub-bacias do Rio Preto e Médio Turvo.

De acordo com os dados disponibilizados pelo CBH-TG (2009), a hidrografia está sobrepondo os limites da sub-bacia do Rio Preto e Médio Turvo, sendo um problema cartográfico, pois os limites de bacia foram feitos na escala 1:250000 e a hidrografia em 1:50.000. Os problemas de limites territoriais, principalmente em bacias hidrográficas são ocasionados pelas diferenças entre os levantamentos cartográficos brasileiros desatualizados com escalas de mapeamentos em níveis de pouco detalhe. Somente em algumas regiões do sudeste e sul do Brasil existe mapeamento mais detalhados, em escalas 1:25000 (alguns municípios dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás e Santa Catarina), 1:10000 (alguns municípios dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro) e 1:1000 (Estado de Santa Catarina).

Os limites de bacia são parte fundamental do planejamento e gestão ambiental e necessitam ser precisos e confiáveis. Os limites foram elaborados por dados topográficos provenientes do MDE SRTM do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2004; VALERIANO, 2008), conforme Figura 3.6(a), disponibilizados pelo INPE com resolução espacial de 30 metros. Para o processamento desses dados usou-se os algoritmos do módulo *Hidrology Analyst* do programa gvSIG 1.11.

Com os procedimentos computacionais pretendeu-se demarcar os divisores de bacia que estão relacionados ao cálculo dos outros dados de indicadores, como, por exemplo, cálculo da área total de agricultura em relação à área total da bacia. O DEM também permitiu obter o grau de declividade do terreno, para identificação e análise de geoindicadores.

Figura 4.6(a). Projeto TOPODATA do INPE



Fonte: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> (acesso em 20/07/2010)

É importante acrescentar que os MDE gerados pela missão SRTM, mesmo após passarem por diversos processamentos, possuem algumas imperfeições, como valores extremamente altos e baixos (picos e vórtices), linhas de costa e corpos d'água mal definidos (RABUS *et. al.*, 2003). Para Valeriano (2004), segundo a

necessidade e aplicação destinada aos dados SRTM, é recomendável se realizar alguns processamentos para corrigir as falhas.

Para geração do limite de bacia hidrográfica utilizou-se uma série de ferramentas dentro da plataforma Sextante, através do módulo *Hydrology Analyst*. A sequência das etapas de processamento e os arquivos gerados estão apresentados na Figura 3.6(b).

As áreas de preservação permanente ou de risco ambiental foram úteis na proposta de elaboração de um indicador de vulnerabilidade e dos geoindicadores, sendo este indicador não presente no plano de bacia do comitê, mas pelo estudo reunir inúmeros dados geoambientais foi possível propor um indicador de vulnerabilidade ambiental de alteração a morfogênese e piogênese.

4.7. PROPOSTA DE INDICADOR POR VULNERABILIDADE AMBIENTAL E GEOINDICADORES

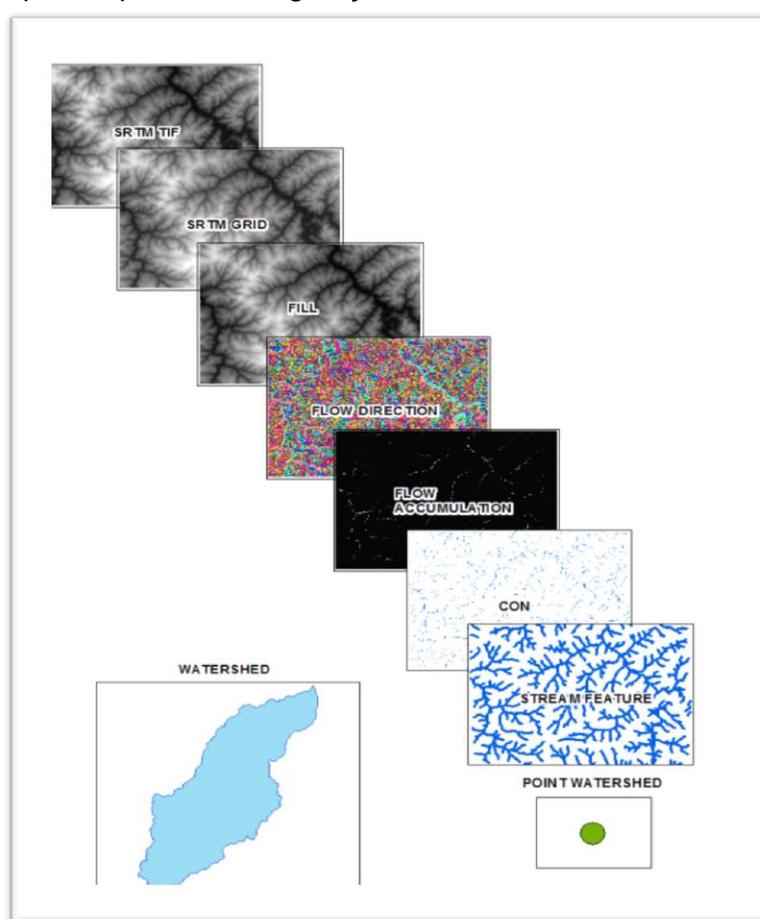
A proposta de vulnerabilidade está baseada na análise do plano de bacia da UGRHI-15 (CPTI; IPT, 2009) que contém muitos dados e informações isoladas, sem interação e cruzamento. Aplicada neste estudo, a proposta visa identificar áreas homogêneas para zoneamento ambiental com graus de prioridade e restrições. A vulnerabilidade será tratada neste estudo como um indicador de prioridade na seleção de zonas para monitoramento e investimento de recursos.

O indicador de vulnerabilidade foi executado em análise multicritério baseada no modelo de vulnerabilidade ambiental proposta por Grigio (2003). O autor aplicou técnicas de SIG para gerar um mapa temático representativo da vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica. Esse método permite direcionar as estratégias para áreas mais frágeis dentro de uma bacia, por exemplo, destinar maiores recursos para áreas mais vulneráveis. Esta pode ser considerada uma forma avançada de análise da degradação e risco, pois a vulnerabilidade não é uma análise isolada de um componente, mas de vários, estabelecendo-se em uma avaliação multicritério.

A integração dos dados temáticos foi feita segundo o modelo utilizado por Barbosa (1998), Crepani e colaboradores (1996; 2001) e Grigio (2003). Uma das etapas do processo metodológico para estabelecer vulnerabilidade é a divisão das variáveis analisadas por classes, por conseguinte, aplicar as pesos para um intervalo

de valores em cada classe. Neste estudo os pesos aplicados variaram de 1 a 3, com intervalos de 0,5, distribuídos entre o predomínio dos processos de piogênese (Formação de solo), às quais se atribuem valores próximos de 1, passando por situações intermediárias, às quais se atribuem valores ao redor de 2 (equilíbrio entre piogênese e morfogênese), e situações de predomínio dos processos erosivos modificadores das formas de relevo (morfogênese) às quais se atribuem valores próximos de 3.

Figura 4.6(b). Etapas do processo de geração do limite de bacia



Fonte: O autor

O processo de determinação da vulnerabilidade de um objeto tem, como passo fundamental, que para estabelecer os pesos para cada classe não existe uma regra pronta, isso pode variar de acordo com as características físicas das variáveis e a experiência do autor sobre o território estudado.

Ponderações são aplicadas de acordo com o objetivo do analista em priorizar a busca de um resultado de seu interesse, ou seja, dados são cruzados para gerar outra informação mais consistente que integram várias variáveis. Os valores considerados no processo de ponderação dos atributos/condicionantes físicos estão descritos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Pesos de vulnerabilidade em relação a condição do território a podogênese e mofogênese

Geologia		Grau de Vulnerabilidade
Depósitos Cenozóicos		3
Formação Adamantina		2
Formação São José do Rio Preto		2
Classes de Declividade		Grau de Vulnerabilidade
Plano	0 – 2,9°	1
Suave Ondulado	2,9° – 5,7°	2
Ondulado	5,7° – 8,5°	3
Muito Ondulado	8,5° – 14°	3
Forte ondulado	14°– 25°	
Área de Uso Restrito	25° – 45°	
Área de Preservação Permanente	>45°	
Vulnerabilidade de Aquíferos		Grau de Vulnerabilidade
Médio-Baixo		1
Médio-Alto		2
Alto-Alto		3
Susceptibilidade Erosão		Grau de Vulnerabilidade
Baixo		1
Médio		2
Alto		3

Fonte: Souza *et al.* (2010) adaptado de Grigio (2003)

Como existem muitos dados gerados com informações ambientais (solos, geologia, vegetação, susceptibilidade a erosão, vulnerabilidade de aquíferos, geomorfologia, clima e etc.), a proposta foi gerar um mapa, em escala 1:250000, da vulnerabilidade ambiental em função de indicador ambiental. A Figura 4.7 ilustra esquematicamente como é realizada a somatória dos dados até o resultado final.

Figura 4.7. Somatório dos mapas de variáveis ambientais



Fonte: O autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. LIMITE DE DETECÇÃO DOS SENSORES DAS IMAGENS DE SATÉLITE

O limite de detecção foi caracterizado em 4(quatro) pontos de visita em campo, dos mais de 90 pontos visitados no mês de julho de 2011. Comparou-se em cada sensor o comportamento dos alvos terrestres. A seguir, são apresentados os quatro pontos, representados nas imagens Landsat, CBERS, IRS, WorldView-2, RapidEye e Sentinel-2A.

No ponto1 registrou-se em campo uma árvore de grande porte com uma copa de 970 metros quadrados (Figuras 5.1(a) e5.1(b)), visualizada nas diferentes imagens de satélite (Figuras 5.1(c), 5.1(d), 5.1(e), 5.1(f), 5.1(g), 5.1(h), 5.1(i) e 5.1(j)).

Figura 5.1(a). Árvore de grande porte (à direita da estrada)



Fonte: O Autor

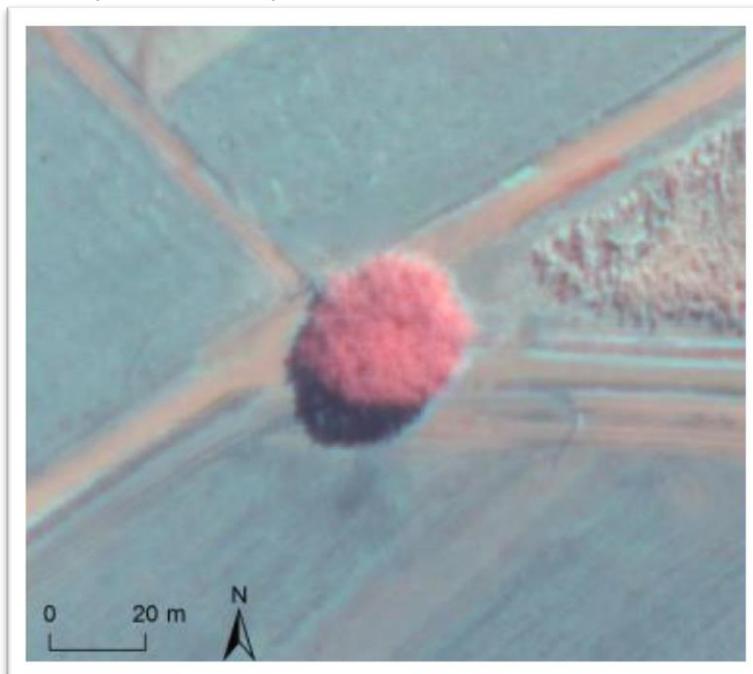
No registro fotográfico da Figura 5.1(a), a árvore à direita da estrada de terra representa uma situação de grande representação científica para análise do limite de detecção. Observe-se que a área no entorno da árvore estava ocupada por área agrícola (cana, com porte médio de 4 a 5 metros). Um pouco mais adiante, na estrada, observou-se um plantio de seringueira.

Figura 5.1(b). Foto panorâmica do ponto 1 – árvore (à esquerda da estrada) e área de pastagem (à direita da estrada)



Fonte: o Autor

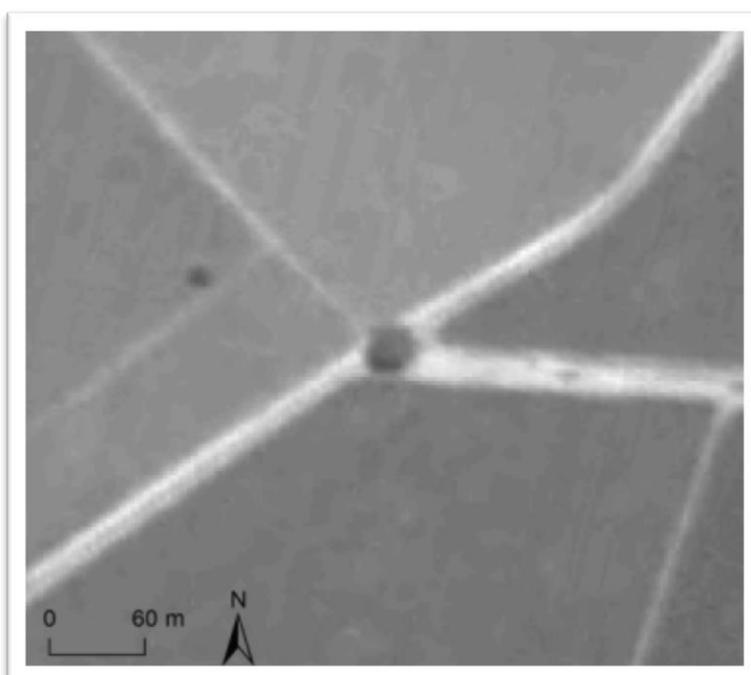
Figura 5.1(c). Imagem do satélite WorldView-2 com pixel de 50 cm de resolução espacial e fusão de bandas multispectrais com pancromática



Fonte: o Autor

Na Figura 5.1(c) a árvore aparece nitidamente destacada no ponto da encruzilhada em relação ao entorno, que tem pastagem, cana-de-açúcar e um plantio recente de floresta.

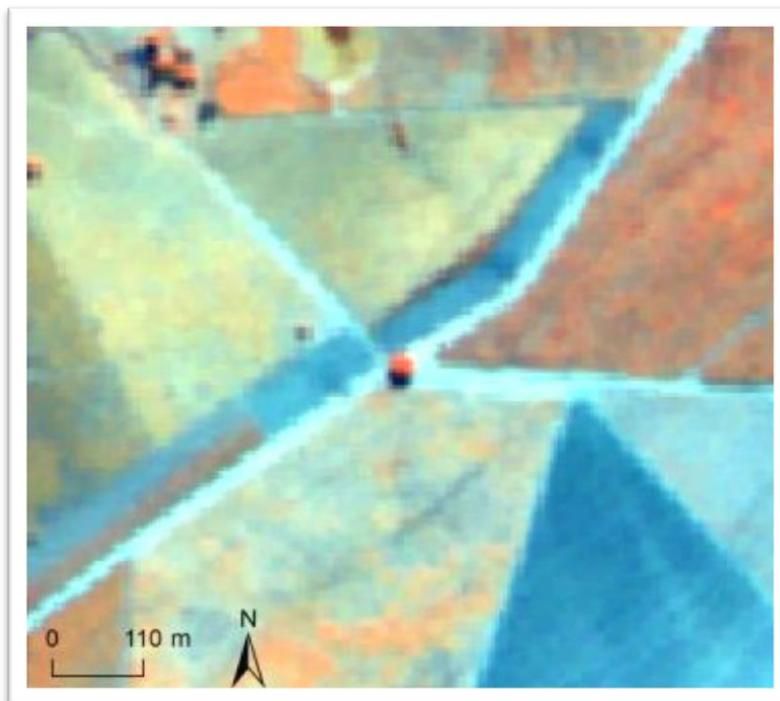
Figura 5.1(d). Imagem do satélite CBERS-2, sensor HRC, com pixel de 2,5 m



Fonte: O autor

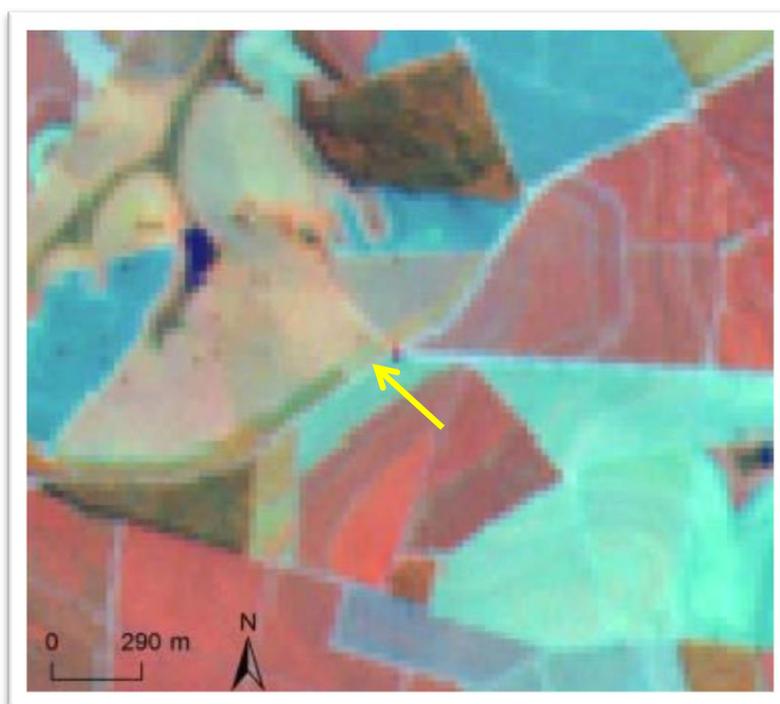
Na Figura 5.1(d) a imagem também se mostra como de fácil identificação e a árvore aparece bem destacada, mesmo em níveis de cinza.

Figura 5.1(e). Imagem do satélite RapidEye com pixel de 5 m de resolução espacial



Fonte: O Autor

Figura 5.1(f). Imagem do satélite IRS-P3 com pixel de 23 m de resolução espacial



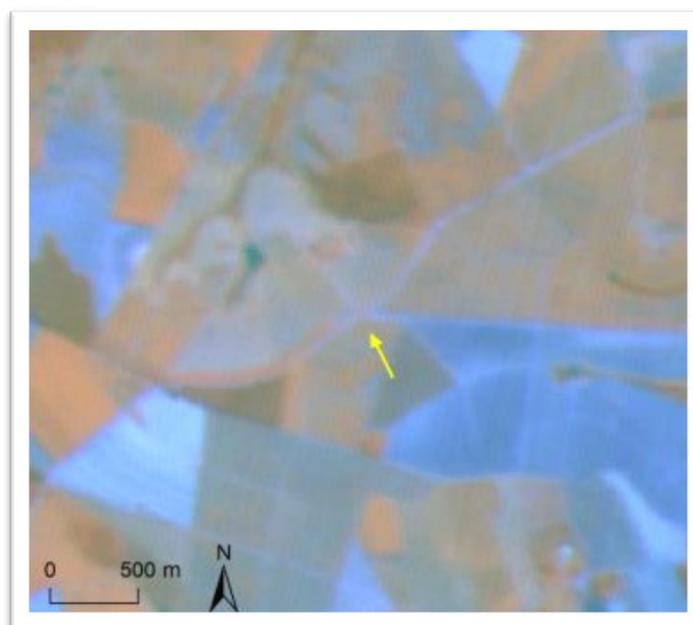
Fonte: O Autor

Situação semelhante às duas primeiras imagens, na Figura 5.1(e) a árvore se mantém destacada na imagem. Nesta escala é possível visualizar, ainda, uma casa pequena (pequena área construída), área de pastagem (agropecuária), rio, lago, pequenos fragmentos de mata, solo exposto (terra preparada para plantio).

Na Figura 5.1(f) não se visualiza nitidamente a árvore, representada por um minúsculo ponto, indicado pela seta em amarelo, mas é possível identificar que há um alvo respondendo no infravermelho e com uma pequena sombra ao sul, representada pelo ângulo de posição do sol em relação ao sensor do satélite. Ao contrário das imagens anteriores, não é possível verificar o formato de uma árvore na imagem, devido a uma perda de foco por espalhamento e contaminação de energia refletida entre pixels das imagens CBERS (Figura 5.1 (g)), devido às faixas geradas na imagem do satélite CBERS, oriundas de um problema de calibração do sensor CCD, acaba por limitar a identificação de alvos com nível de detalhamento próximo de 400 metros quadrados (BOGGIONE, 2014).

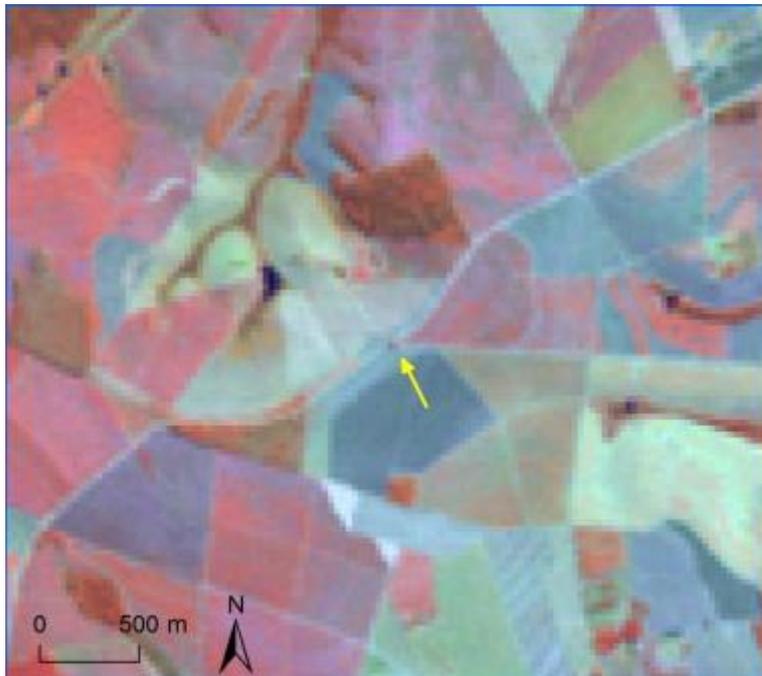
Na Figura 5.1(h) a árvore aparece visualmente, mas com um pouco de perda de foco, isso por causa da resolução espacial da imagem ser de 30 metros. Aparece também na imagem deformado o formato arredondado da árvore, porém aparece a resposta conforme indicada pela seta em amarelo. Aproximando-se a imagem com zoom é possível observar a árvore em 4 pixels na faixa do infravermelho.

Figura 5.1(g). Imagem do satélite CBERS, sensor CCD, com pixel de 20 m de resolução espacial e realce ajustado.



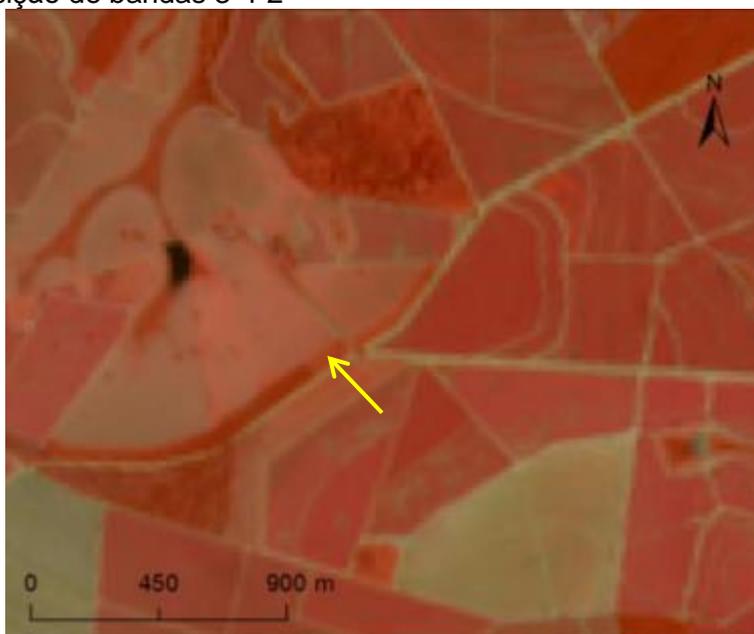
Fonte: O autor

Figura 5.1(h). Imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, com pixel de 30 m de resolução espacial



Fonte: O autor

Figura 5.1(i). Imagem do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com pixel de 20 m de resolução espacial, composição de bandas 3-4-2



Fonte: O autor

O sensor MSI do satélite Sentinel-2A é um sensor que permite um detalhamento maior no mapeamento e monitoramento de indicadores. A área retirada em campo é identificável nessa imagem com resolução de 20 metros.

Figura 5.1(j). Imagem do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com pixel de 20 m de resolução espacial, composição de bandas 2-3-4



Fonte: O autor

A imagem com 10 metros de resolução do satélite Sentinel-2A permitiu uma análise com detalhamento e de forma gratuita.

A identificação da árvore se deu de forma diferente nas diferentes imagens de satélite: na imagem WorldView-2 detectou-se 32 metros de um ponto da copa da árvore até a outra, de acordo com o medido em campo com uma trena; na imagem RapidEye, também manteve-se a mesma medida de comprimento da copa igual ao campo; na imagem IRS, a árvore foi identificada em 4 pixels de 23 metros, em uma área de 2.116 m²; na imagem Landsat identificou-se a árvore em 4 pixels com uma área de 3.600 m²; na imagem CBERS-2B não foi possível identificar e; na imagem Sentinel-2Aa árvore foi detectada em 6 pixels com uma área de 600 m².

Assim, ficou evidenciado que mesmo em uma imagem com 30 metros de resolução espacial é possível identificar alvos que fornecem maior influência na resolução espectral, permitindo-se monitorar e quantificar de forma generalizada, mas a quantificação com precisão é viabilizada somente em imagens com resolução espacial maior que 5 metros.

No ponto 2 registrou-se em campo um fragmento de mata ciliar acompanhando um córrego com menos de 10 metros de largura, cuja APP é de 30 metros de largura, conforme registros fotográficos mostrados nas Figuras 5.1(k),

5.1(l),5.1(m), 5.1(n) e5.1(o), e imagens de satélite mostradas nas Figuras 5.1(p), 5.1(q),5.1(r), 5.1(s), 5.1(t), 5.1(u) e 5.1(v).

Figura 5.1(k). Foto panorâmica do ponto 2

Notas: coordenadas UTM 0723973 / 7685983 e 489 m de altitude



Fonte: O autor

Figura. 5.1 (l). Vista da estrada antes de atravessar a ponte

Nota: detalhe de plantio de cana à esquerda da rodovia, depois de estaca média



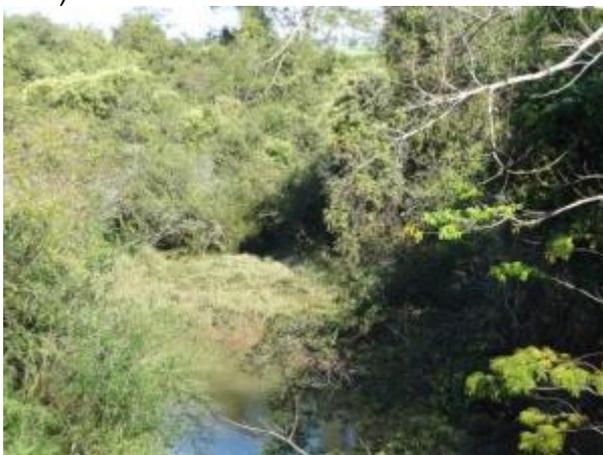
Fonte: O autor

Figura 5.1(m). Mata e plantio de cana e citros (à direita da rodovia, antes da ponte)



Fonte: O autor

Figura 5.1(n). Mata ciliar (largura de 30 m de APP)



Fonte: O autor

Figura 5.1(o). Dimensão da margem do rio (largura menor que 10 m)



Fonte: O autor

Figura 5.1(p). Estrada, que corta um fragmento de mata ciliar, muito bem visualizada na imagem do satélite WorldView-2 com pixel de 0,5 m de resolução espacial



Fonte: O autor

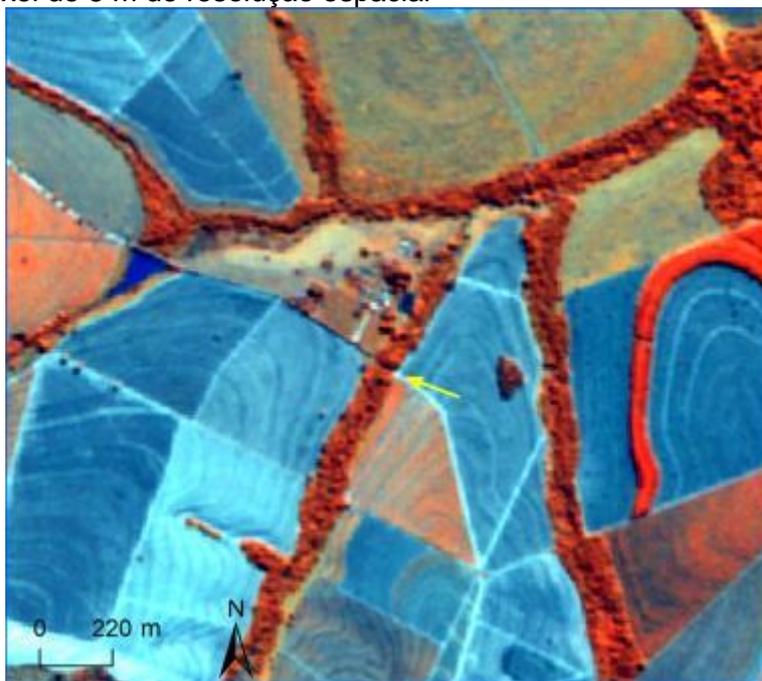
Figura 5.1(q). Fragmento de mata ciliar e estrada, identificados em imagem do satélite CBERS-2B, sensor HRC, com pixel de 2,5 m de resolução espacial



Fonte: O autor

Como na Figura 5.1(q) está representada uma imagem com apenas uma banda, a riqueza espectral deixa a desejar nas variações dos alvos “vegetação nativa” e “área agrícola”.

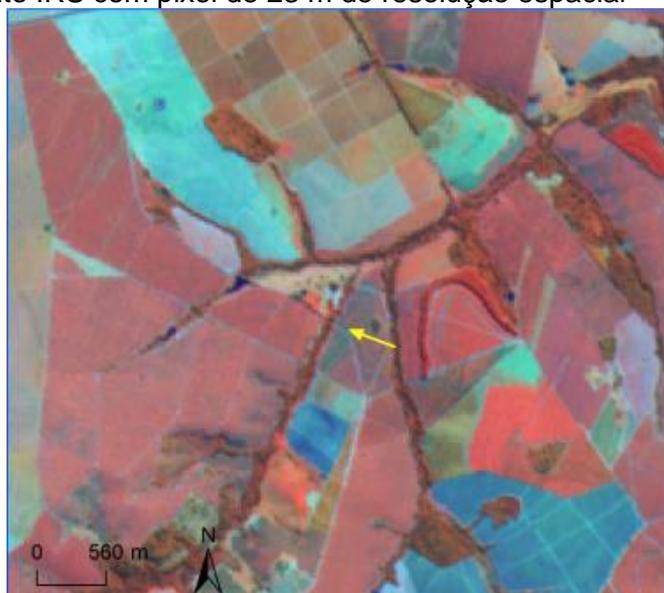
Figura 5.1(r). Estrada que corta fragmento de mata ciliar identificada em imagem do satélite RapidEye com pixel de 5 m de resolução espacial



Fonte: O autor

Na Figura 5.1(r), é possível identificar a estrada, mas com uma maior dificuldade. Em se tratando de uma imagem com duas bandas no espectro do infravermelho verifica-se a variação de detalhes nos alvos da superfície, subsidiando a diferenciação de diversos alvos, como a densidade da vegetação e alguns tipos de áreas agrícolas.

Figura 5.1(s). Estrada que corta o fragmento de mata ciliar identificada pouco nitidamente em imagem do satélite IRS com pixel de 23 m de resolução espacial

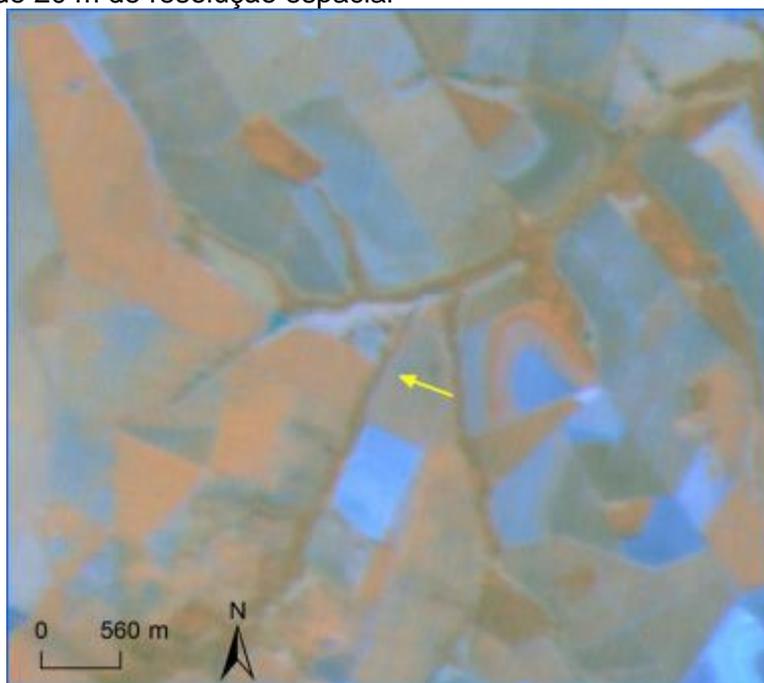


Fonte: O autor

Observa-se na Figura 5.1(s) que mesmo com um nível de detalhe baixo, tanto espectral como radiométrico, pelo fato ser uma imagem de 128 bits, verifica-se que a estrada que corta o fragmento de mata ciliar não aparece nítida, porém detecta-se uma mudança de cor na vegetação que pode representar a passagem de estágios sucessionais ecológicos.

Como o alvo cortante é a estrada, observa-se que é um alvo onde a reflectância é muito alta em todas as bandas, podendo ser solo exposto. Isso promove um destaque do alvo, mesmo estando quase totalmente coberto por vegetação na escala considerada, sendo o pixel dominado pelo alvo com maior reflectância.

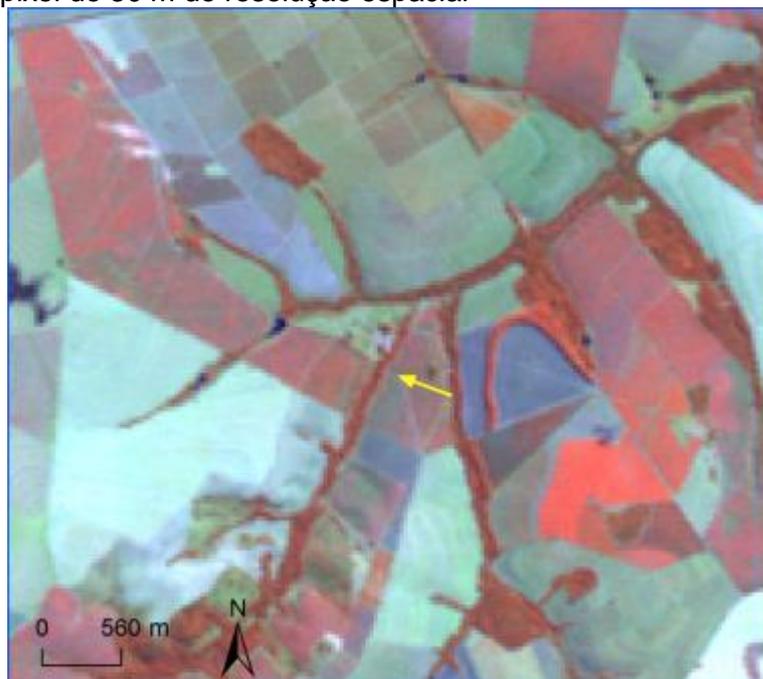
Figura 5.1(t). Fragmento de mata ciliar identificado na imagem do satélite CBERS, sensor CCD, com pixel de 20 m de resolução espacial



Fonte: O Autor

Na Figura 5.1(t) é possível identificar o fragmento de mata ciliar, mas não a estrada que corta o mesmo. Percebe-se pouca mudança na vegetação em função do sensor desta imagem ter problemas de interferência de energia eletromagnética entre os pixels, o que provoca um efeito de perda de foco.

Figura 5.1(u). Fragmento de mata ciliar identificado na imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, com pixel de 30 m de resolução espacial



Fonte: O Autor

Figura 5.1(v). Imagem do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com pixel de 20 m de resolução espacial, composição de bandas 2-3-4



Fonte: O autor

Na Figura 5.1(u), a árvore, ponto com alta refletância no infravermelho e no entorno, se mostrou um alvo com resposta espectral muito diferente – a árvore respondeu em 4 pixels totalizando 3600 m², sendo que a árvore tem 927m². A

estrada que corta o fragmento de mata ciliar, feição com alta resposta espectral, medindo 50 metros de comprimento linear, também não foi possível de ser identificada na imagem Landsat, o contrário da imagem Sentinel-2A mostrada na Figura 5.1(v). A imagem Landsat demonstrou que não basta se analisado somente o tamanho real do alvo analisado, pois uma árvore respondeu e uma estrada cortando uma APP, mesmo sendo uma feição linear e mais fácil em teoria de se identificar, não foi identificada.

5.2.USO E COBERTURA DO SOLO E O MONITORAMENTO ESPACIAL DOS INDICADORES

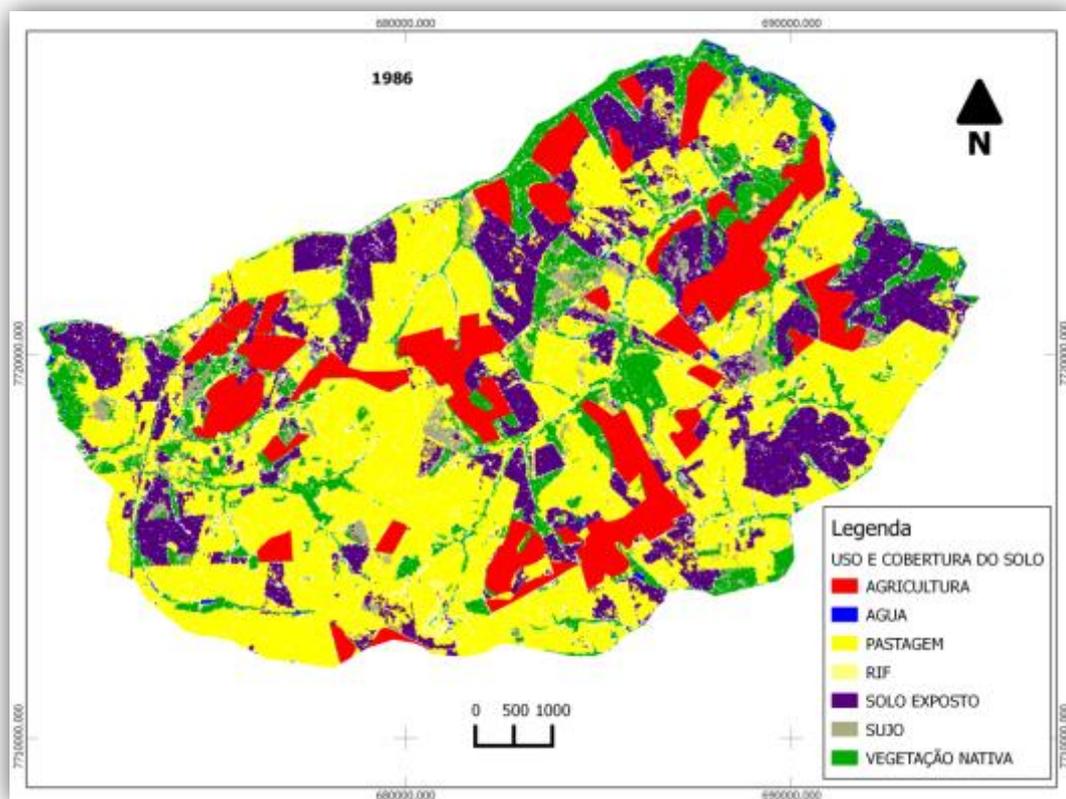
A análise espacial da evolução temporal do uso e cobertura do solo objetivou identificar o comportamento espacial da cobertura do solo como indicador ambiental definido pelo Plano de Bacia do Turvo-Grande. A legenda do mapeamento foi dividida em agricultura, pastagem, água, sujo, rif (áreas com refletâncias em todas as bandas), solo exposto, sujo (área com vegetação remanescente ou pastagem com vegetação arbustiva esparsa) e vegetação nativa.

A Figura 5.2(a) apresenta o uso e cobertura do território de Onda Verde no ano de 1986. Observou-se que a predominância era por pastagem e existia uma grande área de solo exposto, que em período chuvoso contribuem com grande quantidade de material inconsolidado no assoreamento de rios. Neste período a vegetação nativa estava muito degradada (Figura 5.2(b)).

Para o ano de 1994 observou-se um aumento da quantidade de solo exposto e um avanço da agricultura sobre a pastagem (Figuras 5.2(c) e 5.2(d)).

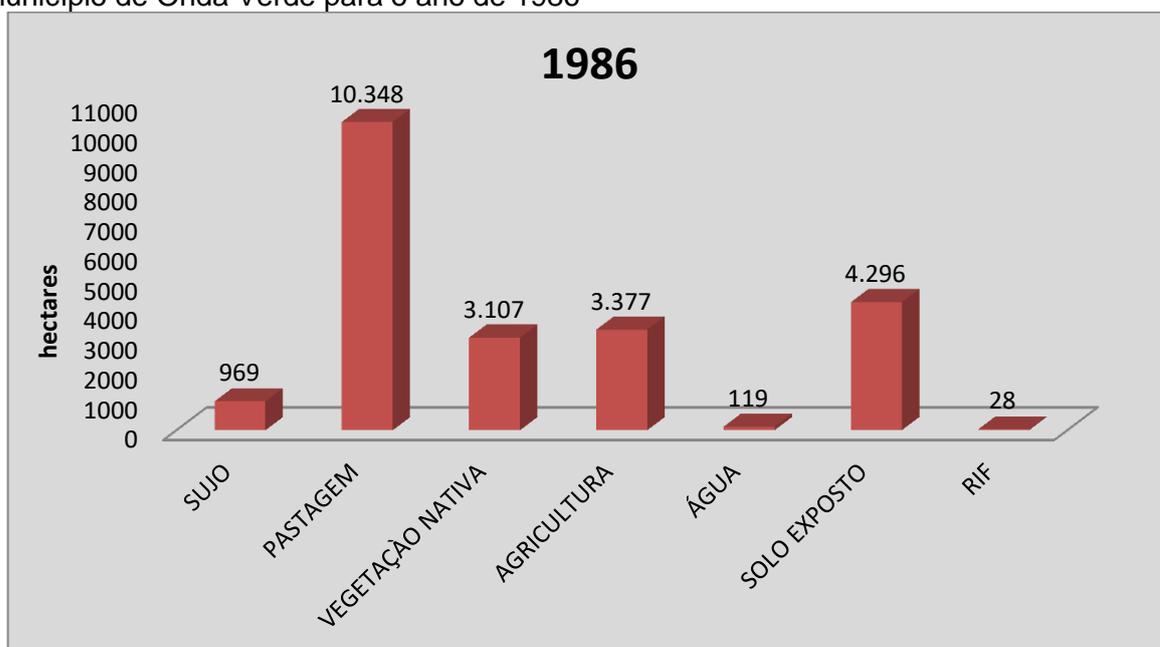
No ano de 2000 houve um considerável aumento de vegetação arbórea e uma delimitação mais visível da vegetação ciliar, mostrando que houve cuidados em não ocupá-las (Figura 5.2(e) e Figura 5.2(f)). Essa relação do aumento de vegetação nativa está condicionada à expansão de cana-de-açúcar sobre a área de pastagem, em virtude da produção de cana executar o procedimento de criar mapa com a divisão de talhões e a borda dos carregadores aparece como estrada circundando as APPs, que não são exploradas, na maior parte, pela produção de cana.

Figura 5.2(a). Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1986



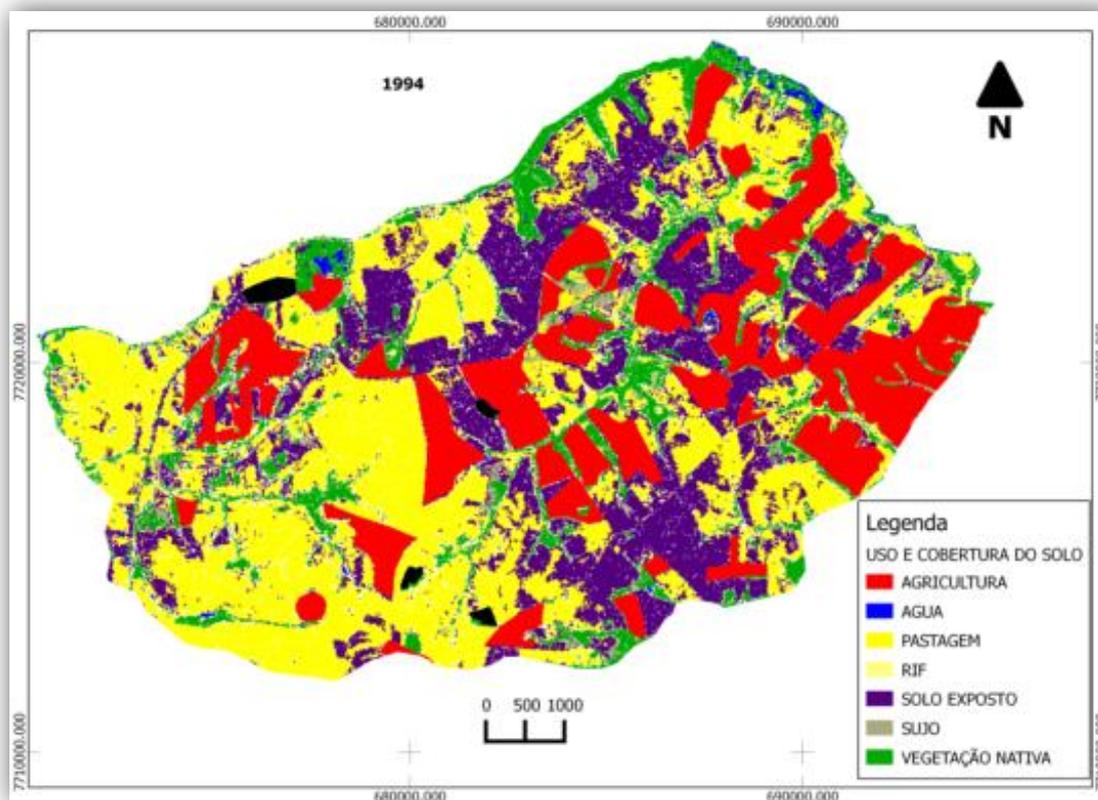
Fonte: O autor

Figura 5.2(b). Distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1986



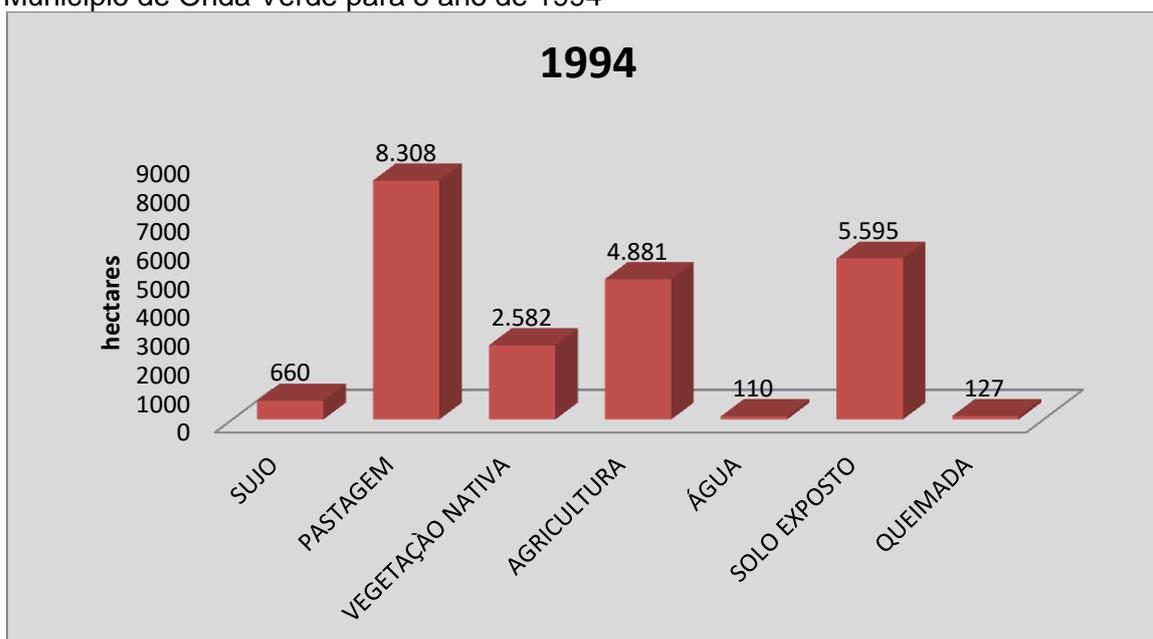
Fonte: O autor

Figura 5.2(c). Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1994



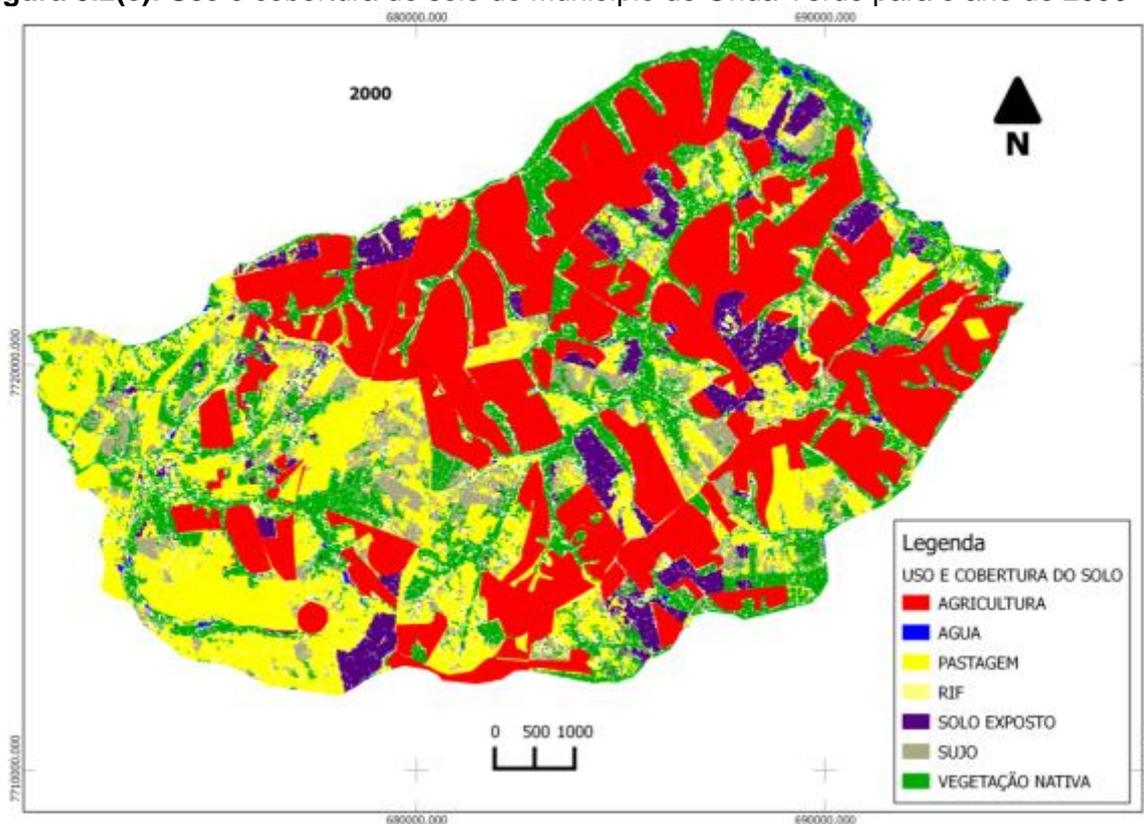
Fonte: O autor

Figura 5.2(d). Distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 1994



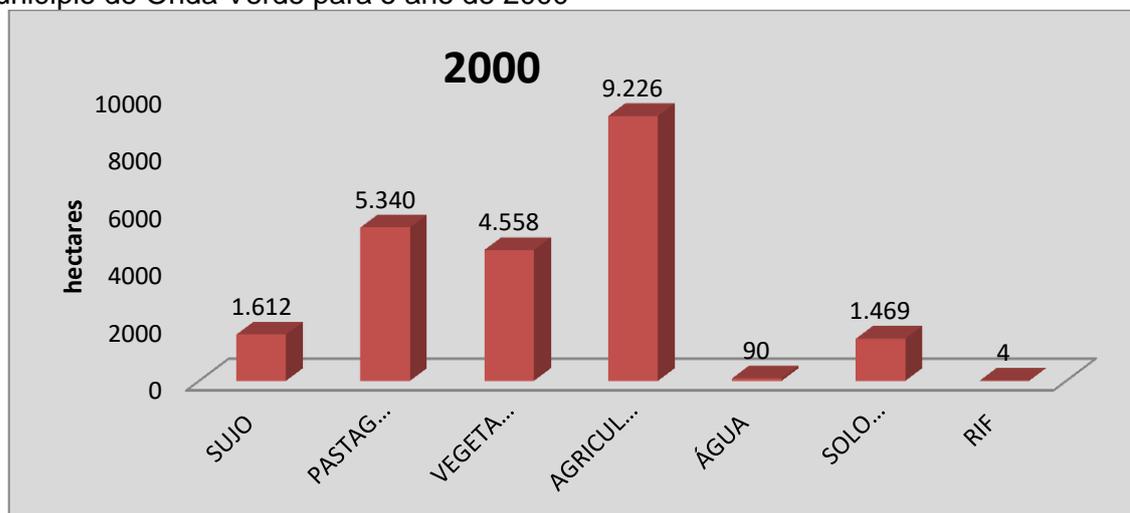
Fonte: O autor

Figura 5.2(e). Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2000



Fonte: O autor

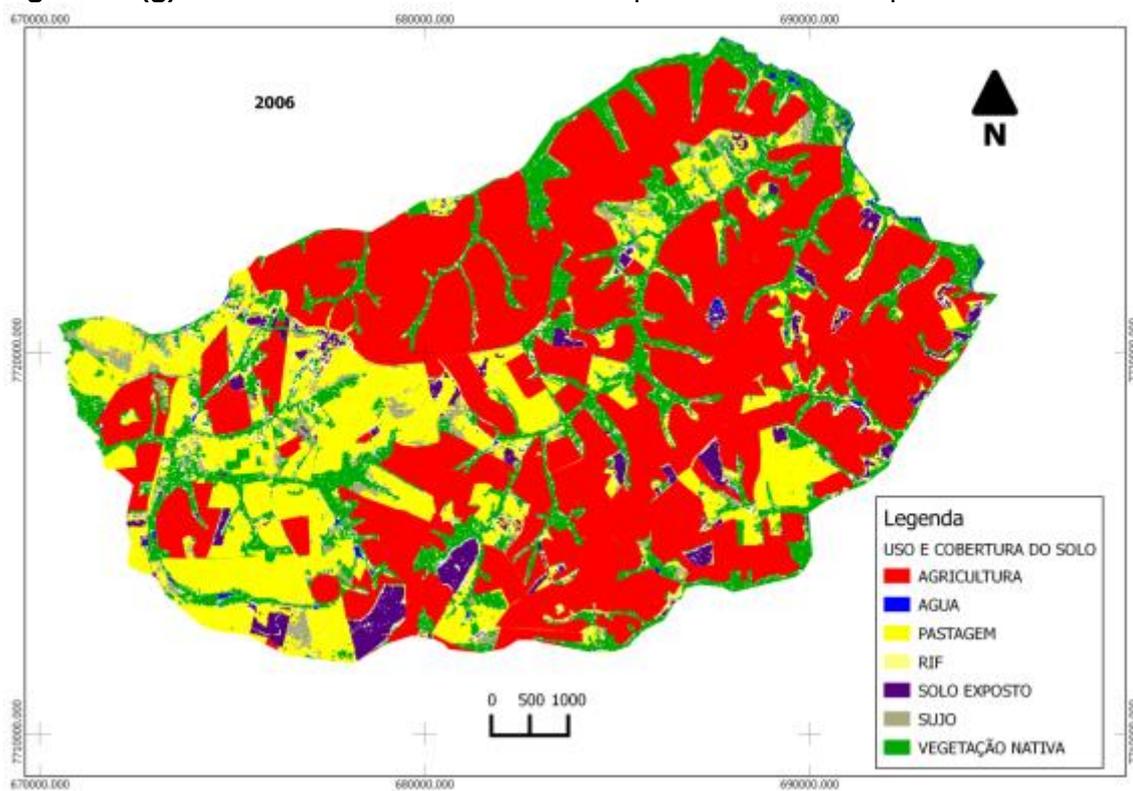
Figura 5.2(f). Distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2000



Fonte: O autor

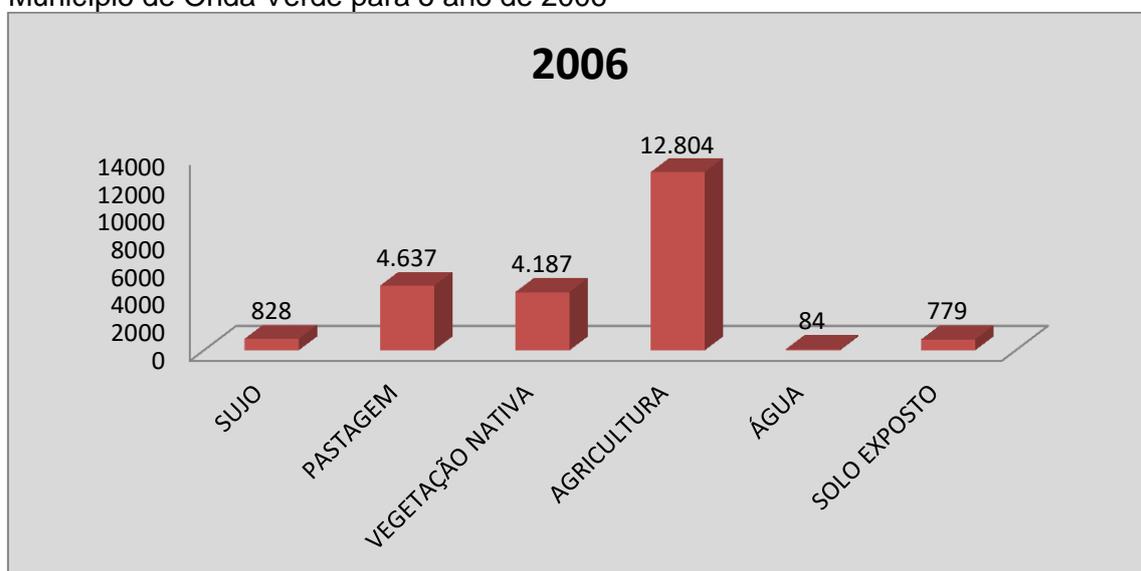
Para o mapa do ano de 2006 é nítido o domínio por agricultura – modificação de toda uma estrutura e organização fundiária em apenas 20 anos – e um retrocesso na quantidade vegetação nativa (Figuras 5.2(g) e 5.2(h)).

Figura 5.2(g). Uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2006



Fonte: O autor

Figura 5.2(h). Distribuição percentual das áreas das classes de uso e cobertura do solo do Município de Onda Verde para o ano de 2006



Fonte: O autor

Na Figura 5.2(h), observou-se, também, um grande aumento de áreas agrícolas, principalmente de cana-de-açúcar, com a expansão das atividades de usinas de açúcar e álcool na região, que aumentam consideravelmente a pressão sobre o meio ambiente, sendo motivado pelo ciclo de cana de açúcar que requer

intenso preparo de solo. No processo de produção de cana, operações como gradagem, subsolagem e falta de cobertura vegetal durante o principal período de preparo de solo, onde desagrega-se o solo na sua camada de 0 a 40cm no período entre outubro e março, que corresponde ao maior período de chuva da região, por conseguinte ocasionam erosões laminares intensas, podendo evoluir para ravinamento e voçoroca dependendo do local, que carregam não só sedimentos, mas calcário, gesso, fosfato, potássio, nitrogênio, herbicidas, fungicidas, inibidores e maturadores para nascentes, córregos e rios, impactando anualmente grande parte da bacia por ser um processo contínuo.

Definitivamente, o processo de maior impacto ainda não é o de períodos de preparo de solo, mas o de colheita, que tem um ciclo em média na cana de açúcar de 5 anos. No processo de colheita a compactação e diminuição da capacidade de infiltração em mais de 50%, potencializam ainda mais as erosões e transportes de sedimentos e elementos químicos.

Com o histórico de imagens Landsat foi possível se fazer análise temporal, evidenciando-se os avanços dos impactos ao longo dos anos e a mudança de ocupação da bacia que promoveu maior pressão sobre o ambiente através de processos produtivos mais intensos. Imagens com qualidade para mapear temporalmente o comportamento e avanço da degradação dos recursos hídricos, onde e quanto eles ocorreram, estão disponíveis desde 1984 com o satélite Landsat-5.

5.3. ANÁLISE DE NASCENTES

Um indicador ambiental de quantidade de recursos hídricos é assoreamento de nascentes, que foi a comparação da imagem de satélite com a hidrografia digitalizada da base cartográfica do IBGE (1972). A hidrografia foi traçada em planta a partir de vôos fotogramétricos nas décadas de 1950 e 1960. A comparação evidenciou a diminuição do canal de drenagem em relação ao posicionamento da nascente mapeada por foto aérea, como se trata de uma área de pastagem a mais de 30 anos e sem sistema de conservação de solo construído aliado ao desmatamento completo da nascente do córrego Sotero, verifica-se um

assoreamento que contribui fortemente para diminuir o comprimento do córrego(Figura5.3(a)).

Figura 5.3 (a). Imagem Landsat-5 comparada com hidrografia digitalizada por foto aérea

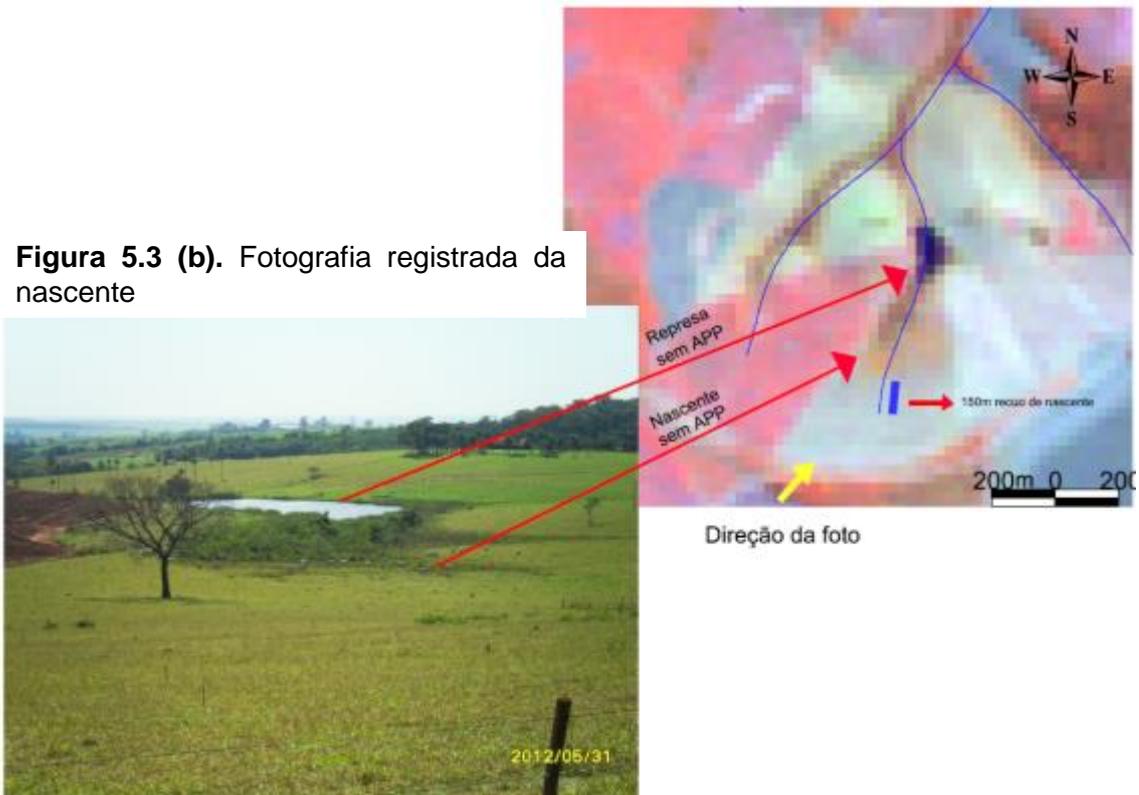
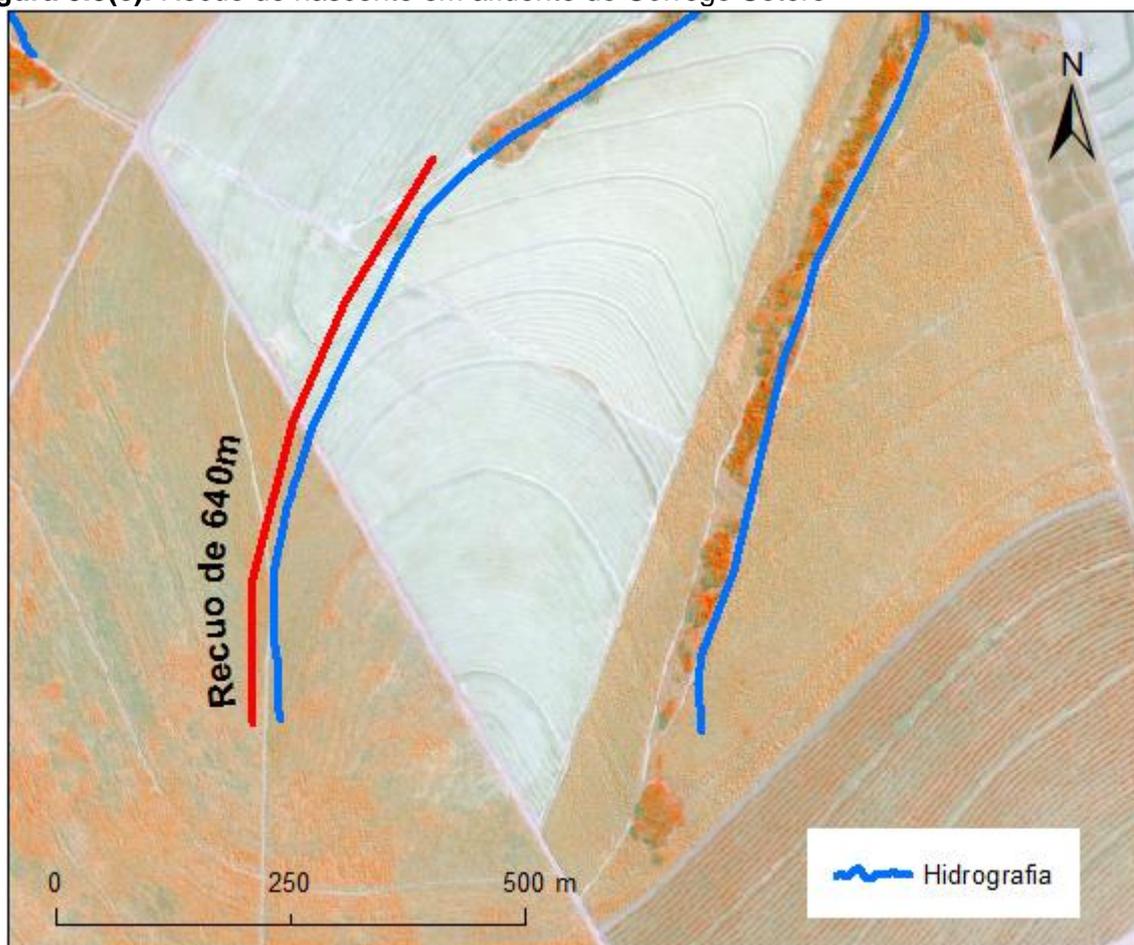


Figura 5.3 (b). Fotografia registrada da nascente

Fonte: O autor

NaFigura5.3(c)evidencia-se nitidamente o avanço da ocupação de áreas agrícolas sobre um antigo canal do córrego. Isso mostra que as atividades antrópicas interferem bruscamente na manutenção da qualidade dos recursos hídricos. Na foto ainda é possível verificar a atividade de gado sobre a nascente, e a resposta espectral na cor laranja na ponta da seta indicativa na imagem de satélite identifica formação de pastagem.

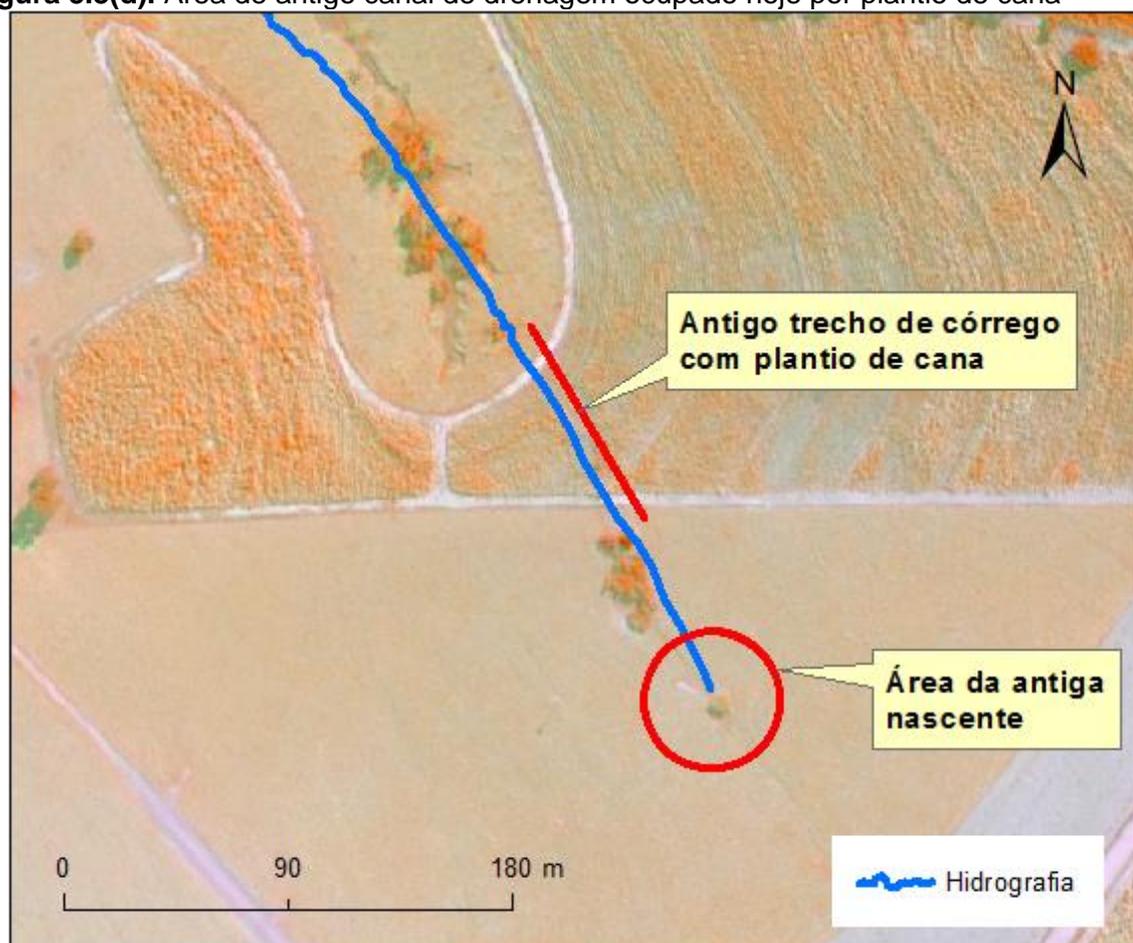
Figura 5.3(c). Recuo de nascente em afluente do Córrego Sotéro



Fonte: O autor

A próxima situação, representada na Figura 5.3(c), se apresenta de forma clara onde era a nascente do córrego, por onde ele passava e a área onde ele secou que hoje é ocupada por plantio de cana-de-açúcar. Principalmente em atividades agrícolas, a interferência nas área de APP é direta pelo uso intenso de máquinas, pequenos avanços da produção agrícola sobre córregos são acentuados, onde a primeira etapa é o preparo de solo, que potencializa erosão e assoreamento e quando reinicia o processo com a reforma de replantio, esse processo ocorre novamente com ciclos subsequentes dependendo da cultura mais de uma vez por ano. Neste caso apresentado foi possível validar *in loco*, que o intervalo onde iniciava a nascente na área de pastagem e a descontinuidade do córrego, já sem água, por um trecho de 700 metros e o retorno do canal na área de cana, tinha todas as evidências no solo e na vegetação, que o córrego iniciava no local do ciclo vermelho (Figura 5.3(d)).

Figura 5.3(d). Área de antigo canal de drenagem ocupado hoje por plantio de cana

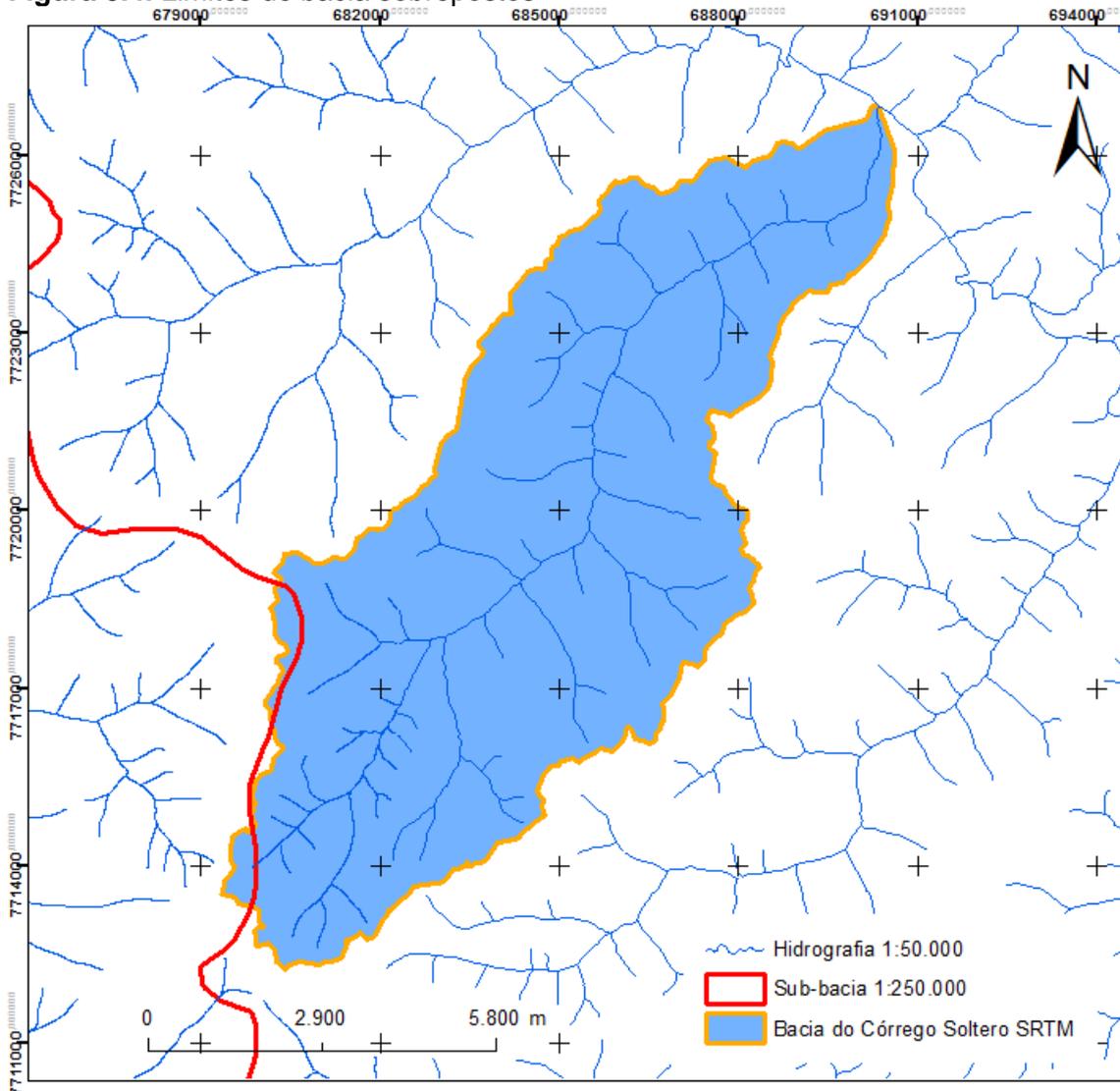


Fonte: O autor

5.4. GERENCIAMENTO DOS LIMITES DE BACIA

A base para gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica e, para isso, seus limites precisam estar definidos de forma precisa de acordo com as bases cartográficas da bacia e oferecer segurança ao planejamento ambiental das atividades a serem implantadas na bacia. Na Figura 4.4 é mostrado o limite de bacia gerado pelo DEM SRTM (Linha amarela) e o limite gerado pelas cartas topográficas 1:250000 (Linha vermelha), evidenciando-se a sobreposição do limite na hidrografia, demonstrando imprecisão e possível falha no processo de gestão. No trabalho realizado por Torres *et. al.*(2005), mostrou-se que existe variação entre *softwares* que geraram o mesmo limite de bacia, com diferença de área de aproximadamente 1.000 hectares em uma micro bacia.

Figura 5.4. Limites de bacia sobrepostos

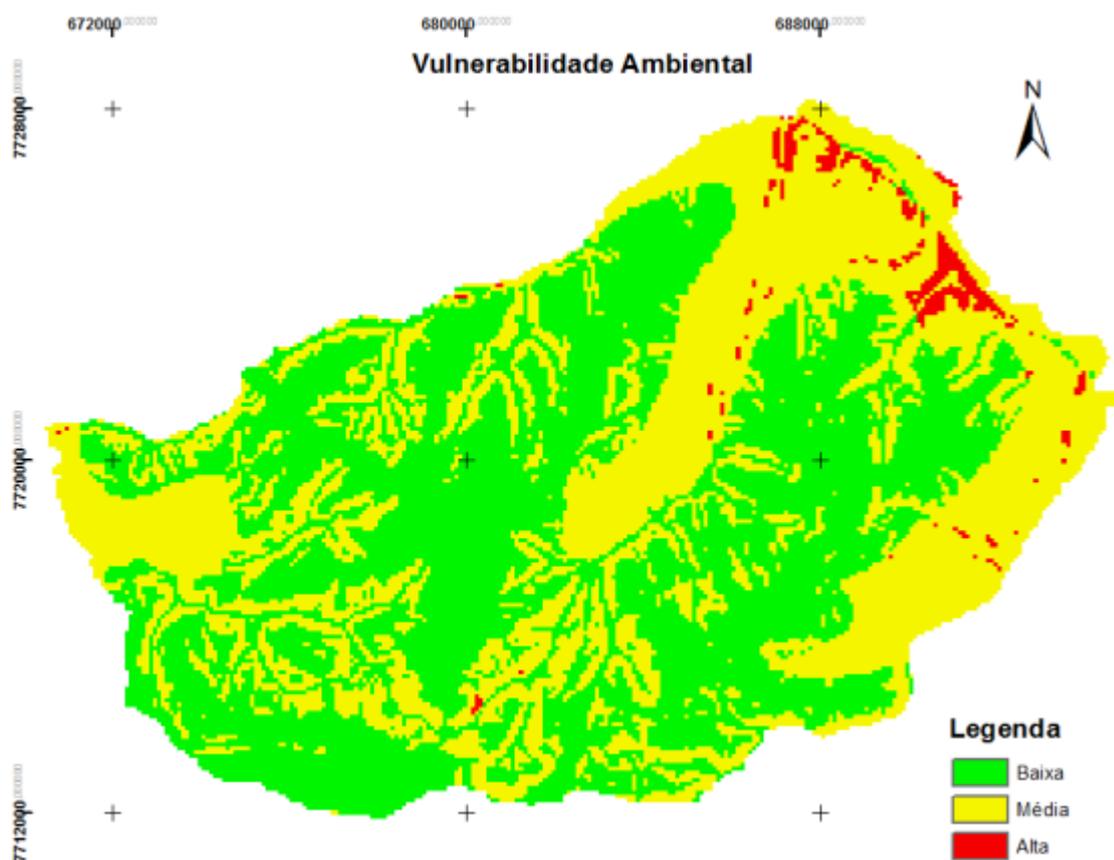


Fonte: O autor

5.5. VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A partir dos dados do meio físico foi realizada uma análise multicritério que identificou as áreas com maior potencial de vulnerabilidade. Nessas áreas destacaram-se as áreas de maior risco, localizadas próximo aos cursos d'água. Isso, ainda, a necessidade de proteção e recuperação das matas ciliares dos córregos (Figura 5.5(a)).

Figura 5.5(a). Mapa de vulnerabilidade ambiental do Município de Onda Verde



Fonte: O autor

Na Figura 5.5(b) apresenta-se a quantificação da vulnerabilidade ambiental. Observa-se que aproximadamente 50% da área do município se situam na faixa de média e alta vulnerabilidade ambiental – esta situação permite delinear monitoramento dessas áreas. Ainda conforme mostrado na Figura 5.5(b), a maioria das áreas de maior vulnerabilidade se localizam próximo dos córregos e do Rio Turvo. Monitorar estas áreas é de suma importância, pois como são de produção agrícola intensa provocam muita pressão no ambiente e, sem controle e monitoramento, os impactos são inevitáveis. Analisando-se a vulnerabilidade em cenários de monitoramento ambiental, é possível indicar quais são as áreas que necessitam de acompanhamento criterioso do uso da terra.

Figura 5.5(b). Quantificação das áreas vulneráveis em hectares



Fonte: O autor

5.6. INDICADOR DE USO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

Outro dado importante no sensoriamento remoto são os dados de radar, que são a base para identificar as áreas de risco de erosão, risco de ocupação e monitoramento de conservação do solo e da água, por meio da extração das curvas de nível que simula a necessidade de terraços e, associados aos dados de uso do solo e declividade, indica a presença ou inexistência de conservação do solo e da água.

O uso e conservação do solo é um dos processos que mais requer cuidados no monitoramento de uma bacia, por provocar impactos que degradam de forma lenta, gradativa e contínua o meio ambiente e a capacidade de produção do solo ao longo dos anos.

A medição do uso e conservação do solo é um processo difícil por não haver um consenso metodológico de um procedimento único que determine as variáveis da cultura agrícola para cada região visando à conservação do solo.

O que existe são várias metodologias que protegem o solo, como: integração de diferentes sistemas de produção agrícola com floresta, pecuária e agricultura, proteção das áreas de preservação permanente, construção de terraceamento, cobertura do solo com vegetação nativa, agricultura perene, reservas ambientais e manejo com culturas agrícolas.

No entanto, não há metodologia que indique a quantidade e forma de terraceamento que deve ser usada de acordo com a produção agrícola para ser aplicada operacionalmente. O que existem são métodos, mas que, operacionalmente, as etapas de construção e execução não são adaptáveis à realidade do campo em produções florestais e agrícolas (por exemplo, cana-de-açúcar). Além disso, há muito pouca pesquisa de como e quando construir.

A legislação, se analisada pela ótica da importância da proteção do solo, que é a base da produção como se fosse a “fundação de um prédio”, é muito superficial no âmbito federal. Por exemplo, na legislação de crimes ambientais – Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1992), em apenas uma linha comenta-se da erosão e mudanças climáticas, e não se comenta da garantia da produtividade, das boas práticas agrícolas, tampouco do rebaixamento do lençol freático, da quantidade de perda de solo por hectare, dentre outros aspectos importantes.

As leis de uso do solo são muito recentes e não aprofundam sobre a fiscalização e controle do tema. A primeira legislação surgiu apenas em 1975, através da Lei nº 6.225, de 14 de julho de 1975 (BRASIL, 1975), e dispôs somente sobre erosão, pois os produtores tiveram grandes problemas de processos erosivos e o desmatamento descontrolado decorrentes do processo de expansão agrícola dos anos 70. Por esse motivo surgiu, primeiro, o decreto do Ministério da Agricultura que dispõe sobre discriminação de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão – Decreto 77.775, de 8 de julho de 1976 (BRASIL, 1976), que regulamenta a Lei 6.225, de 1975 – e, depois, surgiu a Lei de Política Agrícola – Lei nº 8.171 de 17 de janeiro de 1991 (BRASIL, 1991) – que tem como título “proteger o meio ambiente, garantir o seu uso racional e estimular a recuperação dos recursos naturais”,

Para imaginar uma dimensão do tamanho da perda de solo por ano há mais de 30 anos atrás, onde atividades agrícolas eram menos intensas que hoje, estimou-se que em 80% da área cultivada do Estado de São Paulo estava ocorrendo processos erosivos acima da capacidade permitida normal, causando perdas no entorno de 194 milhões de toneladas de terra/ano (BELLINAZZI JÚNIOR; BERTOLINI; LOMBARDI NETO, 1981). Assim houve a necessidade de contornar a situação criada, que alcançou níveis tecnicamente intoleráveis e, para tanto, criou-se a Lei Estadual nº 6.171, de 04 de julho de 1988 (SÃO PAULO, 1988), que dispõe do

uso, conservação e preservação do solo agrícola do Estado de São Paulo, sendo a única legislação estadual para o tema e, ainda, mais rígida que a federal.

É certo que foram criadas formas de mitigar os impactos sobre o solo e garantir a conservação, porém apesar de todas as legislações criadas, a única que direciona algo mais estruturado para a conservação é a legislação do Estado de São Paulo, pois a federal decorre de forma superficial sobre o tema.

Um tipo de erosão que mais ocorre no Brasil é a laminar, no entanto, é raríssimo encontrar alguma notificação sobre a ocorrência da mesma, que transporta toda a camada fértil do solo com maior parcela de nutrientes químicos e biológicos.

O indicador de uso e conservação do solo é de grande dificuldade e alto custo avaliar e medir em campo, pois as metodologias atuais como a do programa de micro bacias do Estado de São Paulo, tem como método visitar em campo em grandes áreas com necessidade de grandes deslocamentos e estrutura que exige alto custo para atuar no campo e monitorar presencialmente.

As medidas e análises são morosas e demoraram muito tempo para avaliar o grau de impacto das bacias, sendo que em nenhum Estado do Brasil, existe uma metodologia de análise de uso e conservação do solo das bacias em larga escala e com periodicidade frequente.

Não é diferente na Unidade de Gerenciamento do Turvo Grande, cujo uso e conservação do solo é apontado como um dos indicadores com maior dificuldade de monitoramento, cujo acompanhamento só é realizado em problemas pontuais, relacionadas a grandes erosões que são o extremo do processo de degradação da conservação do solo.

O Município de Onda Verde foi definido como área de estudo por estar dentro dos municípios com maiores impactos por erosão, que está ligado diretamente ao uso e conservação do solo, contudo não há monitoramento.

A utilização de geotecnologias, com destaque para o sensoriamento remoto, permite monitorar grandes áreas com grande precisão a um custo baixo, permitindo atividade de campo somente em locais pontuais quando necessário.

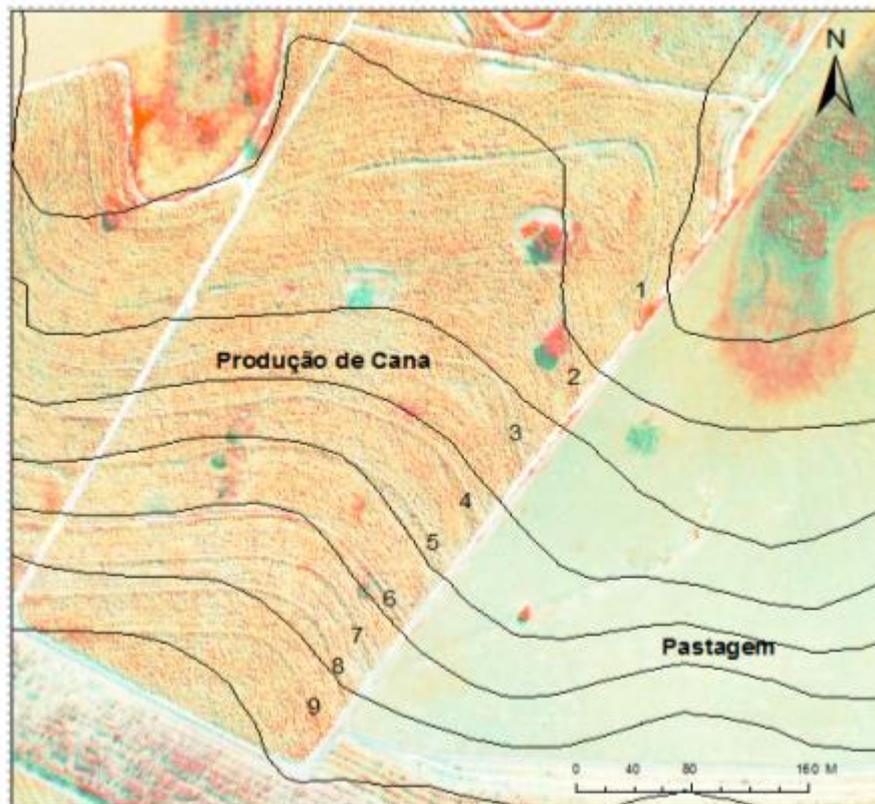
O processo utiliza uma análise física e quantitativa com cálculo de quanto, onde e como deveria ser instalado o sistema de terraços em nível. Terraço é uma estrutura física construída no solo, com o objetivo principal de conservar o solo e reter a água pluvial por escoamento superficial difuso, cuja existência e quantidade

do mesmo na bacia representa um indicador de conservação de solo. Outro exemplo são as estradas rurais que aparecem referenciadas no “Manual Técnico de Conservação das Estradas Rurais do Estado de São Paulo”(IPT, 1988) e no “Programa Melhor Caminho”(SÃO PAULO, 2011) de recuperação de estradas rurais.

O processo de conservação de estradas é indispensável para a conservação de solo. Estradas rurais construídas no sentido da declividade sem estrutura de saída de água à mesma e compactação incorreta tornam-se canais de escoamento com grande volume e velocidade em período chuvoso e, conseqüentemente, provocam erosão.

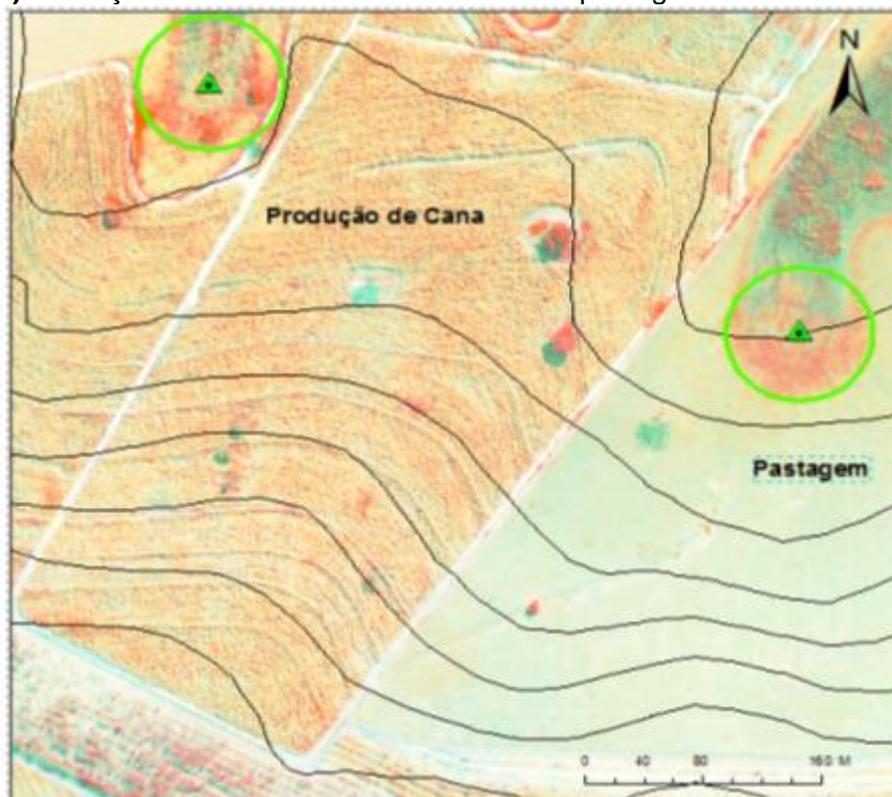
Como descrito anteriormente, são vários os aspectos que permitem monitoramento, conforme mostrado nas Figuras 5.6(a), 5.6(b) e 5.6(c), e a UGRHI pode usar como ferramenta as geotecnologias para subsidiar o monitoramento.

Figura 5.6(a). Numeração de terraços na área de produção de cana e nenhum terraço construído na área de pecuária



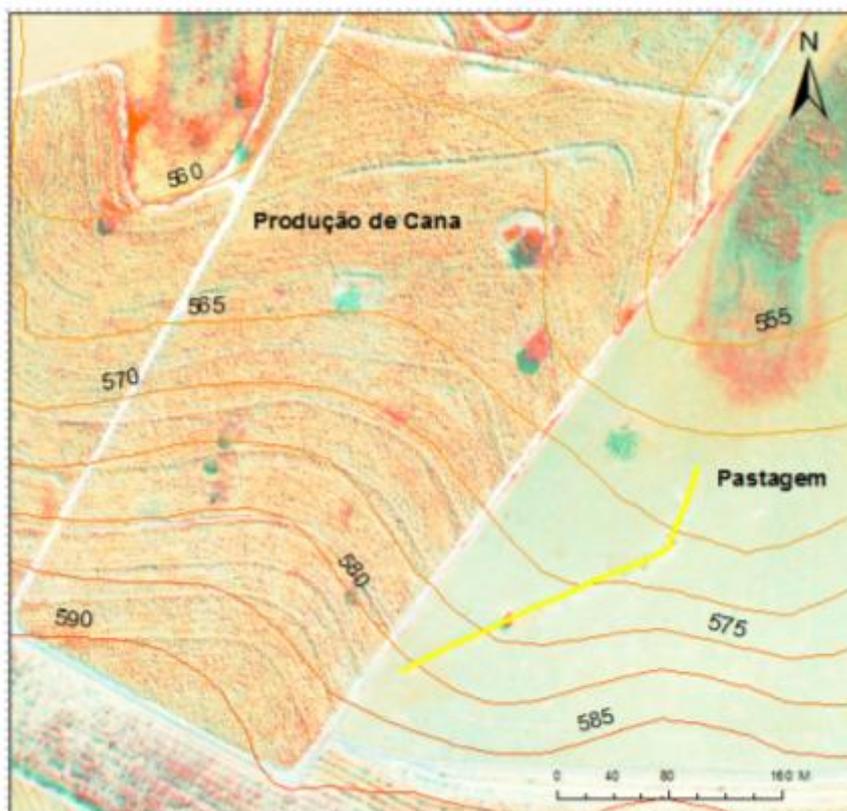
Fonte: O autor

Figura 5.6(b). Proteção de nascente na área de cana e pastagem



Fonte: O autor

Figura 5.6(c). Processo erosivo na área de pastagem



Fonte: O autor

Na Figura 5.6(b) mostrou-se a proteção da delimitação da área de preservação permanente na área de produção de cana, para que não haja invasão. Já, na área de pastagem, não há nenhuma identificação do início da APP, onde o gado tem acesso irrestrito à área.

Na Tabela 5.6(a) foram relacionadas as condições de conservação do solo nas nascentes do Córrego Sotéro e identificados oito terraços construídos na área de produção de cana e, ao lado, na mesma vertente, uma área de pastagem sem nenhum terraço ou proteção contra a perda de solo. Isto indica que essa área de pastagem tem processos erosivos de perda de solo por escoamento superficial muito mais intenso que o da área de produção de cana, conforme mostrado na Figura 4.6(c), que apresentou uma erosão na área sem proteção.

Para avaliar as imagens que foram usadas neste trabalho, na Tabela 5.6(b) estão relacionados os indicadores e capacidade de monitoramento de cada sensor de satélite, cuja legenda “A” significa se é possível identificar e mensurar via imagem e “B” significa identificar com análise espectral dos alvos e entorno e mensura somente com validação em campo.

Tabela 5.6(a). Indicadores de conservação de solo

Elementos	Produção de Cana		Pastagem/Pecuária	
	Presença	Quantidade	Presença	Quantidade
Terraços	Sim	9	Não	0
Proteção de Nascente	Sim	1	Não	0
Presenta de erosão (Sulcos, Ravinas e Voçoracas)	Não	0	Sim	1
Sangras de água da estrada	Não	0	Não	0

O limite de detecção da imagem não está condicionado somente à resolução espacial da imagem, como nas imagens Landsat que possuem resolução espacial de 30 metros, mas também por meio da refletância e análise espectral, onde foi possível fornecer resposta em alvos menores que 900 m², permitindo-se, assim, explorar imagens de baixa resolução para mapear e identificar indicadores.

Tabela 5.6(b). Capacidades de monitoramento dos sensores dos satélites ópticos

	Landsat	WorldView-2	RapidEye	CCD	HRC	Sentinel-2A	IRS
Indicador de erosão e assoreamento							
Quantidade de feições erosivas lineares em relação à área total da bacia (nº/km ²)	B	A	A	B	A	B	B
Área de solo exposto em relação à área total da bacia (%)	A	A	A	B	A	A	A
Extensão anual de APP desmatada (km ² /ano)	B	A	A	B	A	A	B
Indicador de uso e cobertura do solo							
Proporção de área agrícola em relação à área total da bacia (%)	A	A	A	B	A	A	A
Proporção de área com cobertura vegetal nativa em relação à área total da bacia (%)	B	A	A	B	A	A	A
Proporção de área com silvicultura em relação à área total da bacia (%)	A	A	A	A	A	A	A
Proporção de área de pastagem em relação à área total da bacia (%)	A	A	A	A	A	A	A
Proporção de área urbanizada em relação à área total da bacia (%)	A	A	A	A	A	A	A
Proporção de área de campo antrópico em relação à área total da bacia (%)	B	A	A	B	A	B	B
Indicador de recuperação de áreas degradadas							
Proporção de áreas com boçorocas recuperadas (%)	B	A	A	B	B	B	B
Unidades de conservação implantadas (nº)	A	A	A	A	A	A	A
Indicador de áreas protegidas							
Área total de unidades de conservação, por tipo (km ²)	A	A	A	A	A	A	A

Tabela 5.6(c). Relação dos limites de detecção com a resolução espacial na identificação dos alvos terrestres nas imagens de satélite

Resolução espacial	Refletância do alvo maior que entorno	Composição de banda	Potencial de Identificação e mapeamento
30	Alta	Favorável	Alto
30	Baixa	Favorável	Baixo
30	Alta	Não favorável	Médio

Conforme mostrado na Tabela 5.6(c), na identificação de um alvo por uma imagem de resolução maior que o tamanho do alvo é necessário haver uma combinação de muitos fatores. Esses fatores podem variar, como por exemplo, época do ano, quantidade de nuvem, característica do alvo, localização do alvo, características dos sensores, formas de processamento e conhecimento do analista. No entanto, as duas principais questões são reflectância e composição de bandas, demonstradas nos resultados do trabalho.

6. CONCLUSÃO

Foi verificado que dependendo do tipo de alvo na superfície e do tipo de imagem é possível identificar e mapear alvos além da capacidade espacial da imagem, ou seja, alvos menores que o tamanho do pixel da imagem.

O desenvolvimento de novas tecnologias permitiu melhorias significativas nos produtos de sensoriamento remoto. Atualmente, é possível trabalhar com imagens que possuem menos de 1m de resolução espacial e resolução temporal inferior a 3 dias, sendo o caso do satélite Worldview-2, utilizado neste trabalho. A resolução espacial, juntamente com a radiométrica e a espectral são alguns dos aspectos que corroboram para demonstrar a evolução dos produtos na área do sensoriamento remoto, possibilitando uma maior discriminação de alvos. O RapidEye comparando ao Landsat-5, um dos satélites mais aplicados a estudos de cunho ambiental devido sua alta resolução espacial.

A melhoria nas características físicas dos sensores vem contribuindo para o progresso das análises ambientais e outras áreas de conhecimento. A maior disponibilidade de opções torna os estudos mais específicos, sendo que, o melhor sensor a ser usado vai depender em muito do objetivo do estudo.

As melhores características físicas de um sensor, nem sempre refletirá em um melhor produto. É o caso apresentado pelo CCD, por exemplo, sua melhor resolução espacial não foi suficiente para exibir o alvo natural analisado na imagem.

Apesar do sensor LISS-3 não apresentar as melhores características entre os sensores utilizados, suas imagens apresentaram bom aspecto visual, o que condiciona a um bom aproveitamento das informações geradas por este. A qualidade das imagens do LISS-3 favorece a um maior estímulo pelo uso dos dados deste sensor.

No sensor do satélite Sentinel, há um grande ganho de detalhamento e precisão nas análises, devido à característica física do sensor de 9 bandas com variada resolução espacial, capaz de monitorar com maior qualidade os resultados em relação ao satélites gratuitos.

Os dados SRTM mostraram-se dados fundamentais para controle das atividades e recuperação ambiental do comitê, definindo os limites geográficos para gerenciamento, evitando o equívoco na mensuração dos indicadores por parte do comitê. Para o indicador de vulnerabilidade, o SRTM é peça-chave para gerar as classes de declividades em zonas de risco para maior controle do comitê.

Na aplicação do mapeamento do uso do solo, ficou evidente que o comportamento de mudança no processo produtivo de pecuária para cana, foi intensa, rápida e ocorreu sobre áreas de alta vulnerabilidade ambiental a erosão e com desmatamento de fragmentos e árvores isoladas que ainda compunham as pastagens.

Em um contra ponto sobre a mudança de produção da base econômica de pastagem da pecuária para cana no início dos anos 2000, o monitoramento do uso do solo evidenciou como uma aplicação ao comitê que, mesmo com a maior pressão sobre o ambiente causado pela cana-de-açúcar, a agricultura delimita as APP, não de forma ideia como a legislação exige, mas melhor que a

prática da pecuária, visto que houve um aumento de vegetação nativa a partir da mudança para cana.

O monitoramento dos indicadores presentes no plano de bacia relacionados a porcentagem de uso do solo em relação a área da bacia só é possível de forma exata com a aplicação do mapeamento com imagens de satélite, devido a outras formas de obter essas informações depender de apontamento estimado de produção por órgãos do governo. Além das informações quantitativas, fornece a localização e permite correlação com outros indicadores espacialmente.

O monitoramento do indicador conservação do solo se mostrou viável e aplicável, pois com os diferentes sensores é possível identificar e mapear se as atividades agrícolas estão adotando práticas conservacionistas.

Conservação do solo exige-se controle como indicador do plano do comitê e, na região da área piloto observou-se intensa atividade de produção agrícola, que torna-se um desafio para monitoramento do comitê, onde raramente existe controle sobre esse processo, pois todas as propriedades devem, por lei, ter sistema de conservação de solo. As imagens dos sensores do Sentinel, WorldView e Rapideye, possibilitou o monitoramento estrutural quantitativo, analisando o que foi construído e qualitativo de nível topográfico quando comparado com o modelo digital de elevação SRTM. A avaliação dos terraços na área piloto, apresentou que dois dos oito terraços analisados estavam fora de nível topográfico na área de produção de cana e na área de área vizinha com as mesmas características topográficas não havia nenhuma estrutura para conservação de solo.

Os traçados dos limites de bacias não estão mapeado de acordo com o limite real no solo da bacia do Turvo/grande e também as subbacias, pois foi utilizado uma base cartográfica de 1:250.000, que oferece uma dados com baixa precisão em relação a necessidade do gerenciamento do comitê de bacia, ou seja, para gerenciamento de recursos hídricos, a área delimitada da bacia e subbacias apresentam uma diferença em relação a traçado real, essa diferença impacta diretamente no gerenciamento, na recuperação ambiental da bacia, pois projetos pode ser alocados e calculados com valores quantitativos errados e os valores repassado do governo ao comitê é calculado por meio da área da bacia em relação ao indicadores, uma vez a área calculada com área

errada impacta no repasse de recursos. O SRTM soluciona essa questão tornando o gerenciamento do comitê com a precisão coerente para monitoramento de indicadores.

Análise dos sensores dos satélites analisados em relação aos indicadores, foi que 77% dos sensores avaliados para monitorar indicadores conseguem realizar cálculos sem ir a campo para confirmação dos alvos e 23% necessitam de vista no local para certificar-se do alvo indicador.

A proposta do indicador de vulnerabilidade ambiental avaliou-se aplicável, pois existe grande dificuldade do comitê em estabelecer critérios de priorização de investimentos e mitigação dos impactos. O método de vulnerabilidade ambiental é realizado por análise, não de critérios, mas de multicritério, que permite colocar quantos critérios forem necessários e ponderá-los, fator que auxilia diretamente o comitê que utiliza análise de critérios para priorizar investimentos, mas com o diferencial nas geotecnologias que estabelece a posição espacial da informação. Especificamente a vulnerabilidade ambiental aplicada neste trabalho delimitou as áreas de maior e menor risco de processos erosivos, porém o método permite ser aplicado em outro critério com outro objetivo.

As geotecnologias utilizadas neste trabalho compõem um universo de tecnologias que tratam dados e informações geoespaciais e estão muito difundidas nos dias atuais, possibilitando a aplicação em todas as áreas de conhecimento científico e de mercado que atuam sobre o espaço geográfico, ou seja, em qualquer área do conhecimento, a saber, neste caso específico, no gerenciamento de recursos hídricos, com resultados expressivos e baixo custo.

A evolução constante das ferramentas e a grande velocidade e abrangência na disponibilização de dados em escala global de imagens de mapeamento de atributos físicos, aplicados a recursos hídricos e o meio ambiente, têm direcionado uma abordagem interdisciplinar nas diferentes áreas do conhecimento para explorar o potencial das geotecnologias no seu campo de atuação. A possibilidade de tomada de decisão em âmbito estratégico com nível de detalhe, capaz de monitorar indicadores em grandes áreas com baixo investimento e estrutura, tornou-se possível devido:

-aos avanços tecnológicos na computação com alto desempenho em processamento de dados para modelar, estimar, monitorar, controlar e até em tempo real;

-aos avanços tecnológicos em Sensoriamento Remoto que proporcionam melhorias nas grandezas físicas dos sensores, contribuindo para as análises espacial e temporal: as resoluções espaciais evoluíram 80 vezes de 1972 (satélite Landsat-1, 80 m) até 2012 (satélite GeoEye, 0,31 m), enquanto que as resoluções temporais evoluíram de 18 dias (satélite Landsat-1) para até 2 dias (satélite PlanetLabs);

- à integração de Sistemas de Informações Geográficas e outros sistemas de gestão de banco de dados;

- à otimização de algoritmos que processam mais rápido e são de fácil uso.

No âmbito do gerenciamento de recursos hídricos, evidenciou-se como parâmetro fundamental a utilização de geotecnologias para dar suporte na UGRHI com a aquisição, tratamento, geração e análise de informações para monitoramento e controle, definição de estratégias de prioridade e subsidiar a elaboração de diagnóstico de projetos intermunicipais.

Considerando a localização geográfica do alvo, o SIG foi aplicado para criar sobreposições, cruzamento, junção, estatísticas, diferenças entre dados espaciais e analisar de forma rápida a área monitorada por indicadores em relação a um ou mais problemas ambientais. Desta forma, tais dados podem ser usados para coordenar os esforços de mitigação e recuperação dos impactos ambientais que foram aplicados em projetos executados, em andamento, em planejamento, ou previstos no Plano de Bacia.

As imagens de satélite, mesmo as de baixa resolução espacial, mostraram-se viáveis para serem aplicadas para acompanhar projetos ambientais realizados em qualquer ponto da bacia, através de uma análise detalhada de validação da identificação do alvo terrestre. A aplicação das imagens de baixa resolução espacial permitiu responder à etapa de gerenciamento que corresponde ao “Controle” e demonstra que a partir do uso das imagens é possível extrair maiores informações além do limite do tamanho do pixel, explorando-se a capacidade espectral dos sensores das imagens.

Na análise dos variados tipos de imagem de satélite também demonstrou-se o grau de exequibilidade e controle de qualquer projeto dentro da bacia. O trabalho sugere que o comitê, controlador dos projetos, das ações e dos indicadores, utilize as geotecnologias em seu processo de gerenciamento para completar o ciclo de gestão de monitoramento e controle das ações na bacia. Atualmente os comitês utilizam apenas planilhas e documentos impressos para gerenciar o comitê; assim não se consegue atender, por exemplo, se a recuperação de vegetação nativa está crescente ou decrescente na etapa de monitoramento e controle de forma plena. Neste sentido, com as geotecnologias são fornecidas as ferramentas necessárias para monitorar e controlar todos os projetos de recuperação ambiental na UGRHI.

Constatou-se que as imagens de satélite estão em forte ascensão global com investimentos e lançamentos de novos satélites, que vem ampliando periodicamente a precisão e resoluções, espectral, espacial e temporal. Neste contexto, existem considerando somente as imagens gratuitas, mais de 8 imagens por mês do mesmo local geográfico e que permite monitorar alvos na superfície além da capacidade de resolução espacial, que neste trabalho, validou a identificação alvos menores que o tamanho do pixel da imagem.

Em áreas urbanas, onde a maior parte do montante de recursos destinados pelos comitês é aplicada, também é passível de ser monitorada por imagens de alta resolução, que atualmente tem custo baixo, em virtude de serem vendidas por quilômetros quadrados.

Outra questão emblemática é o gerenciamento de dados pelo CBH, definido no plano de bacia como uma das linhas de projetos principais da UGRHI. Por não haver base de dados suficiente para gerenciamento dos comitês, o próprio comitê segue o plano estadual de bacia que também afirma nas suas diretrizes, elencando projetos de construção e organização das bases de dados para o gerenciamento do CBH como pontos-chave de investimento. A geotecnologia atinge precisamente no centro da questão, adquirindo, extraindo e gerenciando dados em sistema unificado, o sistema de informações geográficas.

Com a aplicação do SIG, o comitê abre outra porta para gerenciar dados e informações, como o acesso às bases de dados de outras agências do

Estado, como secretarias, universidades, institutos, etc. Conforme previsto no plano estadual de bacias, base de dados é um problema que precisa de investimento por meio de projetos. Existem muitos dados nas bacias e o comitê, por ser um órgão do governo, pode solicitar acesso aos dados de outras agências e setores do Estado, como por exemplo, imagens de satélite e foto aérea que são adquiridas para outras funções em outros órgãos de governo. Além de existir ferramentas livres, há uma base de dados diversos à disposição, porém estão espalhadas pelos diferentes setores do Estado e sem nenhuma padronização e/ou tratamento, ou seja, o comitê teria que ter uma estrutura mínima para gerenciar esses dados e construir sua base com horas de trabalho técnico e pouco investimento.

A gestão do comitê passa pela delimitação de bacia hidrográfica, que é a unidade de gerenciamento das atividades do comitê. Não há no Estado de São Paulo nenhuma referência de padrões oficiais de delimitação de bacia, e no trabalho com geotecnologias, evidenciou-se que os limites da bacia e da UGRHI não tem a mesma precisão, sugerindo ser um trabalho que ainda precisa ser adequado nos comitês, pois um projeto pode ser aplicado em uma bacia errada, pois existem variações que avançam em vários pontos por quilômetros de erros, adentrando nas bacias vizinhas e vice-versa.

As bacias são territórios extensos e de difícil monitoramento em campo, e o uso das geotecnologias reduz o controle de toda uma bacia a uma sala com estrutura de computadores e internet, programas livres de geoprocessamento, dados de domínio público online ou não, dados do comitê e dados dos projetos aprovados. Assim, todas as informações ficam concentradas e analisadas de forma rápida, com atualização semanal ou diária, dependendo da disponibilidade das informações.

O comitê gestor precisa investir em tempo e recurso humano para manter um pessoal qualificado ou parceria externa para desenhar os processos e procedimentos para a característica local de gestão, selecionar os indicadores definidos no plano de cada bacia, adquirir as imagens, construir o banco de dados, inserir todos os projetos dentro do sistema de informação geográfica, solicitar imagens, disponibilizar os dados online para as prefeituras do comitê e realizar análises e avaliações necessárias.

Uma vez organizada uma estrutura física no processo de gerenciamento, com computadores, servidores e analistas para realizarem o trabalho com geotecnologias, o comitê passa a ter total autonomia sobre o monitoramento dos indicadores.

Todos os indicadores e projetos estão passíveis de serem inseridos em um banco de dados geográfico, especializado por município e monitorado via sensoriamento remoto; por exemplo, um projeto de recuperação de aterro sanitário, uma vez implantado pelo comitê permite-se acompanhar toda implantação e recuperação da área. Outro monitoramento possível de ser realizado pelo comitê é a quantificação das erosões e riscos de processos erosivos existem na bacia, onde deve ser recuperado e quanto recurso deve ser destinado, conforme maior ou menor grau de vulnerabilidade.

Com o monitoramento dos indicadores por sensoriamento remoto e a construção de uma pequena equipe de geotecnologias dentro do comitê, permite-se realizar uma plataforma online, via *webmapping*, para os municípios acessarem informações e dados, e acompanhar os projetos e as condições de cada indicador, até mesmo inserir e baixar dados online, com interação mais efetiva dos municípios.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq) e à Agência Nacional de Águas (ANA) pela concessão de bolsa de extensão no país e financiamento do projeto aprovado no Edital MCT/CNPq/CT-Hidro/ANA nº 15/2010 – Capacitação de Agentes Gestores em Recursos Hídricos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, F. M. S. **Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no Município de Tianguá, Ceará.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: UFC, 2006.165 p.

BELLINAZZI JÚNIOR, R; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. 1981. **Ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo,** In: II SIMPÓSIO

SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, v. 2, São Paulo, 1981. **Anais...** São Paulo: IBGE, 1981,p.117- 137.

BISPO, P. C.; VALERIANO M. M.; KUPLISH, T. M. Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. **Revista Acta Botânica Brasilica**, v. 24, n. 1, p. 96-103, 2010.

BOGGIONE, G. A. **Avaliação da Resolução Espacial de Sensores Ópticos**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisa de Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2014. 84 p.

BRASIL. **Lei nº 6.225, de 14 de julho de 1975**: dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão e dá outras providências. Brasília, 14 de julho de 1975; 154º da Independência e 87º da República. Brasília: DOU, 1975.

BRASIL. **Decreto Nº 77.775, de 8 de junho de 1976**: regulamenta a Lei nº 6.225, de 14 de julho de 1975, que dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão, e dá outras providências. Brasília, de 8 de junho de 1976; 155º da Independência e 88º da República. Brasília: DOU, 1976.

BRASIL. **Lei Nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991**: dispõe sobre a política agrícola. Brasília, 17 de janeiro de 1991; 170º da Independência e 103º da República. Brasília: DOU,1991.

CÂMARA, G.; MONTEIRO M. V.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V.;D'ALGE, J. C. L.; FELGUEIRAS, C.; FREITAS, C. C.; FONSECA, L. M. G.; FONSECA,F. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CASTRO, L. C. **A Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu – PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2005.

CHIAVENATO; IDALBERTO. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 7^a ed. São Paulo: Campus, 2004. 634p.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. **Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review**. International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004.

COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS – CPTI; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Turvo/Grande (UGRHI 15)** – Em atendimento à Deliberação CRH 62. Relatório Técnico CPTI n. 397/08. São Paulo: DAAE/CBH-TG/FEHIDRO/Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado de São Paulo, 2009. 304 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. INPE-11238-RPQ/761. São José dos Campos: INPE, 2004. 38 p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. T. G. (org). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CUNHA, A. M.; LANI, J.L.; AMARAL, E. F.; REZENDE, S. B.; RIBEIRO, L.S. Mosaico digital de aerofotos não convencionais na avaliação de recursos naturais: Estudo de caso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.182-187, 2006.

DERIVI, C.; SAFATLE, A. Indicadores. **Revista Página 22**, n° 49, São Paulo, FGV, p. 22-29, 2011.

DIGITALGLOBE. **Imagem orbital multiespectral do satélite WorldView-2.** Cena 135149. Canais 1, 2, 3 e 4. De 29 de junho de 2011. Distribuição DigitalGlobe®, Estados Unidos, 2011. CD ROM.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **LANDSAT – Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.** 2005. Disponível desde 13/07/2005 em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/LANDSAT.htm>>. Acesso em: 20 julho 2010.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **RapidEye – Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.** 2009. Disponível em: <www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/RapidEye.htm#reis>. Acesso em: 20 setembro 2011.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **WorldView-2 – Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2 março 2012.

ESA – EUROPEAN SPACE AGENCY. Copernicus programme. **SENTINEL-2 mission.** European Commission: ESA Sentinel Online, 2016. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 20 junho 2016.

FREITAS, E. P.; MORAES, JENER, F. L. DE; PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.17, n.4, p. 443-449, 2013.

GSA – EUROPEAN GNSS AGENCY. **GNSS Market Report.** Issue4. Luxembourg: Publications Office of the European Union, March 2015.

GLCF – GLOBAL LAND COVER FACILITY. **Landsat GeoCover Mosaics**. Maryland: University of Maryland, 2000. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/portal/geocover/>>. Acesso em: 20 junho 2010.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guaramé (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: UFRN, 2003. 230 p.

HADEEL A. S.; MUSHTAK T. J.; CHEN X. Remote Sensing and GIS Application in the Detection of Environmental Degradation Indicators. **Journal Geo-spatial Information Science**, v. 14, p. 39-47, 2011.

HOFF, R.; VACCARO, S.; KROB, A. J. D. Aplicação de geotecnologias — detecção remota e geoprocessamento — para gestão ambiental dos recursos hídricos superficiais em Cambará do Sul, RS Brasil. **Revista de Estudos Politécnicos**, v. 6, n. 10, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Carta Topografia de Alta, SF-22-X-B-IV-2, Escala: 1:50.000**. São Paulo, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Carta Topografia Nova Granada, SF-22-X-B-IV-1, Escala: 1:50.000**. São Paulo, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – 2012**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/indicadores_desenvolvimento_sustentavel/2012/ids2012.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Cidades. **Informações da**

cidade de Onda Verde, Estado de São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/home-cidades>>. Acesso em: 13 março 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.** Câmeras Imageadoras do CBERS-1, 2 e 2B. 2007. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/?content=cameras1e2e2b>>. Acesso em: 20 julho 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.** Câmeras Imageadoras do CBERS-3 e 4. 2011. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre_satelite/cameras_imageadoras_cbbers3e4>. Acesso em: 20 julho 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.** 2008. Disponível desde 14/08/2008 em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 20 julho 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Geração de Imagens. Catálogo de Imagens. **Imagem do satélite CBERS-2B, sensor HRC. Canal 1, banda pancromática. Órbita 157 Ponto 123. De 10 de maio de 2008.** São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 19 julho 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Geração de Imagens. Catálogo de Imagens. **Imagem do satélite CBERS-2B, sensor CCD. Canais 2, 3 e 4. Órbita 157 Ponto 123. De 29 de agosto de 2009.** São José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 2 julho 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Geração de Imagens. Catálogo de Imagens. **Imagem do satélite**

ResourceSat-1, sensor LISS-3. Canais 2, 3 e 4. Órbita 328 Ponto 092. De 09 de agosto de 2010. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 19 julho 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Geração de Imagens. Catálogo de Imagens. **Imagem do satélite Landsat-5, sensor TM. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita 221 Ponto 074. De 24 de julho de 2011.** São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 5 junho 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Estradas Vicinais de Terra – Manual Técnico para Conservação e Recuperação.** 2ª ed. São Paulo: IPT, 1988. Disponível em: <<http://www.agp.org.br/wp-content/uploads/2012/02/Manual-de-Conserva%C3%A7%C3%A3o-e-Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-Estradas-Vicinais-de-Terra.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Mapa geomorfológico do Estado De São Paulo.** São Paulo. IPT, 1981. Escala 1:250.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Mapa geológico do Estado De São Paulo.** São Paulo. IPT, 1981. Escala 1:250.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Mapa solos do Estado De São Paulo.** São Paulo. IPT, 1981. Escala 1:250.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Mapa risco erosão do Estado De São Paulo.** São Paulo. IPT, 1981. Escala 1:250.000.

IVER TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN. **gvSIG 1.11**. Valencia, Espanha: Generalitat Valenciana, 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphanio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 345 p.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

JEREZ, G. O.; ALVES, D. B. M.; SOUZA, J. S. **Análise do Uso Combinado GPS/GLONASS no Posicionamento Sob Efeito de Cintilação Ionosférica**. Revista Brasileira de Cartografia (2015) N0 67/1 201-214

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5ªed. New York: John Wiley & Sons, 2004.

LOURENÇO, M. S. **Questões técnicas na elaboração de indicadores de sustentabilidade**. Disponível em:

<http://www.unifae.br/publicacoes/pdf/sustentabilidade/marcus_lorenco.pdf>.

Acesso em:27 jul. 2013

MAGALHAES JUNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688 p.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

METZGER, M. J.; ROUNSEVELL, M. D. A.; ACOSTA-MICHLIK, L.; LEEMANS, R.; SCHRÖTER, D. The vulnerability of ecosystem services to land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, p. 69-85, 2006.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2001. 287 p.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. **Revista Árvore**, v.30, p.389-398, 2006.

OLIVEIRA, P. T. S. B.; BITAR, O. Y. Indicadores ambientais para o monitoramento de parques urbanos. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, INTERFACEHS**, v. 4, n. 2, 2009.

OXFORD ARCHAEOLOGY; UNIVERSITY OF BERN. **gvSIG OADE Oxford Archaeology Digital Edition, version 1.10**. Oxford, UK: Oxford Archaeology; Bern, Switzerland: University of Bern, 2010. Available from: <<http://oadigital.net/home>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

PARANHOS FILHO, A. C. **Análise Geo-Ambiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho**. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2000. 213 p.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução às geotecnologias**. Campo Grande: Editora UFMS, 2008. 198 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. 135p.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by space borne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.57, p.241-262, 2003.

ROMAGNOLLI, R. **Metodologia preliminar de avaliação ambiental, com base no ciclo da água, aplicada ao planejamento urbano em municípios de pequeno porte no norte do Paraná.** Dissertação(Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina: UEL, 2010.177 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo.** São Paulo: DAEE, 1990. 140p.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004 / 2007.** São Paulo: DAAE, 2006. 62 p.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). **Decreto nº 32.954, de 07 de fevereiro de 1991:** dispõe sobre a aprovação do Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH 90/91 e dá outras providências. São Paulo: DOE, 1991.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). **Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991:** estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo: DOE, 1991.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). **Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994:** dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo: DOE, 1994.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). **Lei nº 6.171, de 04/07/1988**: dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. São Paulo: DOE, 1988.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). **Decreto nº 41.258, de 31 de outubro de 1996**: aprova o Regulamento dos artigos 9º a 13 da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. São Paulo: DOE, 1996.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). **Projeto de Lei nº 327 de 2000**: dispõe sobre o III Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período 2000 a 2003, em conformidade com a Lei nº 7663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo: DOE, 2000.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. **Imagens orbitais multiespectrais do satélite RapidEye, sensor REIS. Canais 1, 2, 3, 4 e 5**. Cenas correspondentes à abrangência da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 15 (UGRHI-15). De 18 de junho de 2010. Distribuição Rapid Eye Image S.A., Alemanha. CD ROM. São Paulo, SP, SMA/CBRN: 2010.

SÃO PAULO (Governo do Estado de São Paulo). Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo. **Programa Melhor Caminho**. São Paulo: SAA; Codasp, 2011. Disponível em: <<http://www.codasp.sp.gov.br/site/servicos/melhor-caminho/programa-melhor-caminho>>. Acesso em: 10 maio 2011.

SALAMENE, S.; FRANCELINO, M. R.; VALCARCEL, R.; LANI, J. L.; SÁ, M. M. F. Estratificação e caracterização ambiental da área de preservação permanente do rio Guandu/RJ. **Revista Árvore**, v.35, p.221-231, 2011.

SCHOTER, D.; METZGER, M. J.; CRAMER, W.; LEEMANS, R. Vulnerability assessment - analysing the human-environment system in the face of global environmental change. **The ESS Bulletin**, v. 2, p. 11-17, 2004.

TIXIER, J.; DANDRIEUX, A.; DUSSERE, G.; BUBBICO, R.; MAZAROTTA, B.; SILVETTI, B.; HUBERT, E.; RODRIGUES, N.; SALVI, O. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, n. 3, p. 251-264, 2005.

TORRES, T.G.; PARANHOS FILHO, A.C.; RONDON, M.A.C.; LASTORIA, G.; SOUZA, A. Comparação do divisor de bacia obtido de diferentes modos: o caso de estudo da bacia do córrego Guariroba - MS. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v.7, n.1. p. 39-56, 2005.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. INPE-10550-RPQ/756. São José dos Campos: INPE, 2004. 72p.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE-15318-RPE/818. São José dos Campos: INPE, 2008. 75 p.

ZANQUETTA, F. **Análise de procedimentos de gestão do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São José dos Dourados para implementação da Política de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2009.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C: USDA, 1978.