

FABÍOLA MAGALHÃES ANDRADE

**MAPEAMENTO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA – IBIÚNA/SP**

Sorocaba
2016

FABÍOLA MAGALHÃES ANDRADE

**MAPEAMENTO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA – IBIÚNA/SP**

Dissertação apresentada como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Ciências
Ambientais da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” na Área de
Concentração Diagnóstico, Tratamento e
Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner
Lourenço

Sorocaba
2016

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais



Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Andrade, Fabíola Magalhães.

Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Una – Ibiúna/SP / Fabíola Magalhães Andrade, 2016.

58 f.: il.

Orientador: Roberto Wagner Lourenço.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2016.

1. Solo - Uso. 2. Bacias hidrográficas. 3. Sistemas de informação geográfica. 4. Ibiúna/SP. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **MAPEAMENTO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA – IBIÚNA/SP**

AUTORA: FABIÓLA MAGALHÃES ANDRADE
ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENCO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS,
área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENCO
Coordenação de Curso de Engenharia Ambiental - ICTS/ UNESP / UNESP-Sorocaba

Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS
Engenharia Ambiental / UNESP Sorocaba

Prof. Dr. HEROS AUGUSTO SANTOS LÔBO
CCS/UFSCar/Sorocaba (SP)

Sorocaba, 08 de julho de 2016

Dedico este trabalho:

Ao Espírito Santo que pelo fruto da Perseverança e pelo dom da Fortaleza, me concedeu forças para enfrentamento de todas as dificuldades encontradas neste período.

À minha mãe Maria do Rosário que mesmo enfrentando tantas dificuldades, dores, cirurgias e idas ao hospital está sempre atenta às necessidades da família, não deixando de fazer por seus filhos muito mais do que a saúde permite.

Ao meu pai José pela constante e inabalável fé e pelo incentivo permanente para buscar sempre mais conhecimento.

Obrigada eterno a vocês dois, atores tão importantes da minha história, por nutrirem a crença em meu potencial como acadêmica e ser humano.

À minha irmã também acadêmica, Jéssica Magalhães, pelo entusiasmo, persistência e torcida constante.

À tia Elisa, por todas as orações dedicadas a minha pessoa e aos meus projetos.

Aos meus avós maternos Maria Luzinete (in memorian) e José Magalhães (in memorian) e aos avós paternos Brígida (in memorian) e Mário Andrade (in memorian) por me fazerem ter a plena convicção de que nada é por mero acaso e que todas as situações na vida indicam um aprendizado, uma marca, uma história.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida que me foi concedida.

À Mãe Três Vezes Admirável de Schoenstatt, pela intercessão que não cessa.

Ao irmão Clayton, pela aceitação em minhas ausências.

Ao caro Vitor Augusto por seu companheirismo, torcida e paciência (*“Let it be”*).

À Família Cintra Francischinelli, em especial Daniel (Daninho), Sônia e Ademir, pela hospedagem e apoio que me deram na primeira semana de curso em Sorocaba.

Aos amigos Julio Cesar (UNESP Presidente Prudente) e Wesley (UEL), que desde a graduação conhecem todos os meus pontos positivos e negativos. Pelas valiosas contribuições, torcida e constante auxílio.

Ao colaborador Pedro Campos (USP) e ao Professor Rodrigo Pisani (UFAL) pela paciência, diálogo e ótimas dicas.

À Maria José (Mazé – Centro Paula Souza) por sua habilidade em “acalmar pessoas ansiosas” e por ter sido fundamental nos últimos dias de jornada pré-defesa.

À Professora Cludia Gomes (UNESP Assis) por sua experiência tão rica e sua crença no potencial do seres humanos.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), que mais uma vez me recebeu como discente, pesquisadora em formação e cidadã.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PGCA), pelo empenho com que me transmitiram o conhecimento científico. Em especial aos professores Leonardo Fraceto, José Arnaldo Roveda e Sandra Roveda, pelo exemplo de vida, simpatia e parceria mútua.

Ao Professor Roberto Wagner Lourenço (China) pela objetividade e disposição para me orientar.

Ao Professor Nobel Freitas (UNISO) pelas contribuições no Exame Geral de Qualificação.

Ao Professor Antonio Martins (UNESP/ICT – Sorocaba), pela parceria no Projeto *“Impetus”* e *“Robocode”* e por todas as dicas e contribuições desde o Exame Geral de Qualificação até a Defesa deste trabalho (não me esquecerei da vossa fala: “Tive o prazer de participar de sua Qualificação e vejo agora como você evoluiu”).

Ao Professor Heros Lobo (UFSCar/Sorocaba) pela tranquilidade, simpatia, ânimo e valiosas contribuições relativas a este trabalho, durante a Defesa.

À Sheila (Pós-doc UNESP/PGCA), pela amizade, troca de experiências, aprendizados culinários e sadia convivência.

Aos colegas Elfany, Zé Carlos e Jocy, pelo amparo nos últimos momentos críticos deste período.

À todos os colegas do Grupo de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental (GEOMAT), pelas parcerias, conversas e caronas.

À todos os colegas do PGCA, pela convivência, risadas, passeios, bolos, almoços e sobretudo, o contato com outras áreas do conhecimento, em especial Larissa e Leila (as poderosas), Valteir (o braço direito) e Vinícius Martinez (a inspiração, “vai novinho”).

Aos funcionários deste Campus que sempre estiveram prontos a me auxiliar, em especial a Eva (paciente secretária do PGCA), Bruna, Lucimara e Janete (agéis servidoras da biblioteca, e também nos meus diversos pedidos de EEBs), Giovanna (o sorriso mais bonito do Grupo GEOMAT) e Danilo (o cara das tecnologias do STAEPE).

À Diretora Marina Faganello (ETEC Nelson Vianna), pela confiança em minha dupla jornada entre emprego e vida acadêmica.

Ao nobre colega e parceiro Daniel Guerrero (ETEC Nelson Vianna), que reconhecendo e compartilhando as necessidades desta dupla jornada, sempre me alocou em bons horários no emprego e contribuiu para a conclusão deste trabalho.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa: muito obrigada!

“[...] Carbon streets on a rainy day
The dawn is coming to my town of strangers
The storm comes and goes
And I keep walking, I keep walking [...]”.

BOKKA – TOWN OF STRANGERS

“[...] A mesma inteligência que foi utilizada para um enorme desenvolvimento tecnológico
não consegue encontrar formas eficazes de gestão internacional para resolver as graves
dificuldades ambientais e sociais [...]”.

CARTA ENCÍCLICA LAUDATO SI’ – PAPA FRANCISCO
SOBRE O CUIDADO DA CASA COMUM

ANDRADE, F. M. **Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Una – Ibiúna/SP**. 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2016.

RESUMO

Os avanços científicos e tecnológicos desempenhados nas últimas três décadas atuam como facilitadores em tarefas vinculadas ao desenvolvimento e manejo de recursos naturais, tanto hídrico como florestal, em benefício do ser humano. Dentre estes, a evolução temporal do uso do solo e cobertura vegetal tem sido analisada trazendo uma série de questionamentos ao inferir que práticas predatórias têm contribuído para o agravamento das questões ambientais em todas as escalas de análise. O uso das técnicas de Sensoriamento Remoto e a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm auxiliado trabalhos com a intenção de fornecer subsídios que permitam a mitigação dos problemas correlatos, a fim de contribuir de maneira efetiva na contenção das consequências negativas que já se apresentam. Assim sendo, essa pesquisa teve por objetivo estudar a evolução temporal no uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Una localizada no município de Ibiúna, Estado de São Paulo, nos períodos de 2004, 2008 e 2012, observando-se a expansão das categorias áreas urbanas e agricultura, principalmente pela quantificação e composição da matriz de transição de uso do solo, além de mapeamentos considerados compatíveis com a imagem referência.

Palavras-chave: Uso do Solo e cobertura vegetal; Bacia Hidrográfica do Rio Una; Mapeamento.

ANDRADE, F. M. **Mapping of land use and vegetation cover in the watershed of Una river – Ibiúna/SP**. 2016. 58 f. Dissertation (Master's degree Environmental Sciences) – Institute of Science and Technology, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2016.

ABSTRACT

The scientific and technological advances in the last three decades act as facilitators when developing tasks related to the management of natural resources, that is, water and forest for the benefit of man. The time evolution of land use and vegetation cover has been analyzed bringing series of questions and confirming that predatory practices have contributed to the deterioration of the environment in all scales of analysis. The use of Remote Sensing techniques and the use of Geographic Information Systems (GIS) have helped working with the intention of providing subsidies that allow the mitigation of related problems in order to contribute effectively to stop the negative consequences that are already present. Thus, this research aimed to study time evolution of land use and vegetation cover in the watershed of Una River in the municipality of Ibiúna, State of São Paulo, in the 2004, 2008 e 2012 periods, observing the expansion of urban areas and agriculture categories, especially for quantification and composition of land use transition matrix, and mappings considered compatible with the reference image.

Keywords: Land use and vegetation cover; Watershed of Una; Mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	26
Figura 2 - Mapa cartográfico de apoio.....	35
Figura 3 - Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano 2004.....	36
Figura 4 - Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano 2008.....	38
Figura 5 - Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano 2012.....	40
Figura 6 - Gráfico da evolução das categorias de uso do solo e cobertura vegetal..	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos sensores dos satélites Landsat-5 e Spot-5.....	28
Tabela 2 - Classificação de mapas para valores Kappa.....	32
Tabela 3 - Exemplo da matriz de transição.....	32
Tabela 4 - Quantificação das classes de uso do solo para o ano de 2004.....	37
Tabela 5 - Quantificação das classes de uso do solo para o ano de 2008.....	39
Tabela 6 - Quantificação das classes de uso do solo para o ano de 2012.....	41
Tabela 7 - Matriz de confusão para a imagem referência e o mapeamento do ano 2004.....	44
Tabela 8 - Matriz de confusão para a imagem referência e o mapeamento do ano 2008.....	45
Tabela 9 - Matriz de confusão para a imagem referência e o mapeamento do ano 2012.....	46
Tabela 10 - Classificação de mapas para valores Exatidão Global e Kappa.....	46
Tabela 11 - Áreas das transições identificadas no período de 2004 a 2008.....	47
Tabela 12 - Áreas das transições identificadas no período de 2008 a 2012.....	48

LISTA DE ABRVIATURAS E SIGLAS

°C	= Grau Celsius
ANA	= AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
APP	=Área de Preservação Permanente
AVACIM	= AVALiador de classificação de imagens
Cwa	= Temperado úmido com inverno seco e verão quente
EMBRAPA	= EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
ESRI	= ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE
FAO	= FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS
FUNCATE	= FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS ESPACIAIS
ha	= Hectare
HRG	= High Resolution Geometric
IBGE	= INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IGC	= INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO
INPE	= INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
IPCC	= INTERGOVERNAMENTAL PAINEL CLIMATE CHANGE
IPT	= INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
km	= Quilômetro
LANDSAT	= Land Remote Sensing Satellite
m	= Metro
MMA	= MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
PNRH	= POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
RL	= Reserva legal
RGB	= Red, Green e Blue
SBPC	= SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA
SEADE	= FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS
SIG	= SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
SMA	= SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
SPOT	= Système Pour L'Observation de La Terre
TM	= Thematic Mapper
UGRHI	= UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

µm = Micrômetro

UTM = UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

WGS = World Geodesic System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Bacia Hidrográfica.....	18
2.2 Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	19
2.3 Preservação e Conservação Florestal.....	20
2.4 Sensoriamento Remoto.....	21
2.5 Sistemas de Informação Geográfica.....	22
3 OBJETIVOS.....	24
3.1 Objetivo geral.....	24
3.2 Objetivos específicos.....	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Materiais.....	25
4.1.1 Área de estudo.....	25
4.1.2 Material cartográfico.....	27
4.1.3 Modelagem e tratamento dos dados.....	28
4.2 Métodos.....	29
4.2.1 Elaboração da base cartográfica de estudo.....	29
4.2.2 Análise de imagens e Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	29
4.2.3 Acurácia do mapeamento de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	30
4.2.4 Análise da mudança do Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 Mapeamento cartográfico de apoio.....	34
5.2 Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	36
5.3 Acurácia do mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	43
5.4 Estudo de transição no Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	47
6 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se configura como uma nação com ampla cobertura florestal e biodiversidade, promotora de serviços ambientais, além de ser uma das principais reservas de água doce superficial e subterrânea do mundo. A importância das florestas está diretamente associada não somente à saúde do planeta, como também à manutenção da própria humanidade, ao crescimento das economias do mundo, à produção agropecuária e de alimentos (ZAKIA; PINTO, 2013).

A presença das florestas na biosfera está diretamente ligada às necessidades humanas, tornando estas componentes indispensáveis ao bom funcionamento dos sistemas, tanto ambiental, como econômico, onde há destaque em causas como a luta contra a pobreza e proteção do meio ambiente, conforme preconizado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization of the United Nations /FAO*) (CARNEIRO, 2004).

Nesse contexto, a visão estratégica do território tornou-se item essencial, uma vez que permite conciliar metas de crescimento econômico e de combate às desigualdades sociais, por meio da conservação dos recursos naturais. No Brasil, essa visão estratégica tem como elemento central a preocupação com a valorização do território enquanto objeto de integração dos diversos planos, programas, políticas e projetos (MMA, 2016).

A evolução das civilizações diversas acelerou o crescimento demográfico no globo, gerando pressão significativa sobre a demanda de recursos naturais e alterando as condições ambientais. Desde a Conferência Global sobre o Meio Ambiente (Rio 92), a consciência sobre quão importantes e em que estão baseadas as múltiplas funções das florestas, tem sido crescente. Nacionalmente, a temática atingiu reconhecimento em escala global, devido à extensão das florestas e particularmente pela biodiversidade encontrada nas mesmas (FAO, 2014; ANA, 2016).

A maioria das florestas tem sido explorada de forma predatória, isentas de critérios aceitáveis para o manejo florestal, encontrado via de regra perante as legislações pertinentes, fato que resulta na perda da cobertura e da diversidade biológica, antes mesmo que se tenha o conhecimento do conjunto de espécies presentes no meio natural (TAFFAREL, et al., 2014).

Os riscos atribuídos às modificações da dinâmica natural influenciam diretamente no equilíbrio tanto atmosférico como terrestre, culminando assim no desaparecimento das espécies florestais via substituição, por gêneros agrícolas ou pecuários, ou ainda na ocupação humana irregular, trazendo a urgência de estudos direcionados à alteração e composição da

paisagem, em especial ao uso do solo e cobertura vegetal em bacias hidrográficas, buscando construir cenários temporais que possam contribuir com planos e programas de gestão visando o equilíbrio sustentável em termos de conservação e preservação do meio ambiente.

Ocorrem lacunas quando a questão é reportada ao manejo florestal e a quantidade permitida para extração, de forma sustentável, visto que o uso inadequado das florestas naturais pode desequilibrar os ciclos (natural e produtivo) e degradar os ecossistemas, como tem ocorrido nos últimos anos com o ritmo de crescimento das espécies tidas como “manejadas” (BRAZ, et al., 2012).

O desmatamento indica ameaça de vulnerabilidade aos ecossistemas florestais tropicais, resultando em cenários que apresentam climas mais quentes, solos mais secos, além de alguns desajustes que dizem respeito a mecanismos ambientais, como aumento não característico de áreas propícias a incêndios florestais.

É necessário buscar a compreensão de que florestas possuem protagonismo em atividades relacionadas às mudanças climáticas por meio do desmatamento; assim como na preservação e conservação da biodiversidade e dos solos e na proteção de bacias hidrográficas, o que justifica de forma significativa estudar as variações e alterações da paisagem causadas pela modificação no uso do solo e na cobertura vegetal (YU, 2004; CARVALHO, et al., 2010; PINHEIRO, et al., 2014; FIORENTIN et al., 2015).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica

A água constitui um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interligando fenômenos da atmosfera inferior e da litosfera, e interferindo na vida vegetal, animal e humana, a partir da interação com os demais elementos do seu ambiente de drenagem.

Assim sendo, a união de alguns afluentes a partir de um rio principal, em determinado espaço é denominada bacia hidrográfica, que segundo a Lei Nº 9.433, de janeiro de 1997, caracteriza-se como uma unidade territorial. Outra definição atribui o nome de bacia de drenagem, com área superficial, que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto de um canal fluvial (COELHO NETTO, 2005).

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, que na sua fase terrestre engloba a infiltração e o escoamento superficial. Esta pode ser definida ainda como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de fonte para captação natural (via precipitação) através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, a bacia faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, por ser este o único ponto de saída (LIMA, 2006; TUCCI, 2007).

A importância da bacia hidrográfica é atribuída à organização de caráter simples identificada por meio do balanço de água, que possibilita a avaliação das componentes envolvidas no ciclo hidrológico, em área topograficamente drenada por curso de água ou sistema de conexão entre cursos, inferindo-se que a vazão descarregada seja também simplificada. O sistema de drenagem da bacia deve necessariamente ser constituído por um rio principal e tributários, acompanhando-se ainda o padrão de drenagem, determinado por meio da estrutura geológica, tipo de solo, topografia e clima (CARVALHO; SILVA, 2006).

Com isso, a adoção da Bacia Hidrográfica como unidade de estudo e planejamento é, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o primeiro princípio básico que avança na gestão dos recursos hídricos, uma vez que as causas da deterioração destes ultrapassam os limites de unidades produtivas e administrativas. Dessa forma, os limites de uma bacia possibilitam realizar o confronto entre a disponibilidade e a demanda por recursos naturais, essenciais para o estabelecimento de um modelo sustentável (PORTO; PORTO, 2008; FAXINA, et al., 2012; PIROLI, 2013).

Portanto, o uso das bacias hidrográficas como unidade de estudo se coloca em caráter fundamental, tanto para a prevenção de impactos indesejados, quanto para a elaboração de medidas mitigadoras ou corretivas.

2.2 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A retirada da vegetação da superfície e posterior conversão em outro tipo de cobertura desencadeia uma série de alterações significativas no meio físico e no ciclo da água. O regime hídrico é diretamente afetado pela situação, dinâmica e manejo da vegetação, itens que podem contribuir tanto para a manutenção e circulação ou para a indisponibilidade no planeta (ALMEIDA et al., 2009).

Não obstante, as mudanças no uso do solo e na cobertura vegetal estão diretamente relacionadas com vários problemas ambientais, tanto em escalas locais, como regionais e globais. A retirada da floresta e sua substituição por outro tipo de cobertura do solo afeta diretamente as trocas de energia e matéria que ocorrem na superfície terrestre (IPCC, 2007; CAVALLET; PAULA, 2008; CORTEZ, 2011; MARTINS, 2013; ROVANI et al., 2015).

Novas tendências demográficas e econômicas, se por um lado permitiram a inclusão social, por outro vieram acompanhadas de significativos impactos sobre os ecossistemas e pelo aumento da situação de vulnerabilidade de determinadas parcelas da população, colocando em risco a própria sustentabilidade do desenvolvimento nacional (MMA, 2016).

O processo de eliminação e fragmentação florestal, que é mais intenso nas regiões economicamente mais desenvolvidas, resultou em um conjunto de problemas ambientais que compreende desde a extinção de várias espécies de fauna e flora, mudanças climáticas locais, erosão dos solos até o assoreamento de cursos d'água (MARQUES; BARBOSA, 2006; FERRETI; BRITZ, 2006; PESSOA, et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Além disso, as florestas tropicais (e, por conseguinte, as savanas) são responsáveis pela maior parte do intercâmbio anual de troca líquida de carbono entre a atmosfera e a superfície terrestre. Longos períodos de crescimento florestal e alta pluviosidade possibilitam ecossistemas tropicais extremamente produtivos que armazenam uma quantidade considerável de biomassa acima da superfície, além de influenciar diretamente cenários do sistema climático de forma geral (RANDERSON, 2013; GASPAR et al., 2014; SILVA; BAPTISTA, 2015; FIGUEIREDO et al., 2015).

Para tanto, observa-se a sustentabilidade como sendo proporcional às interferências (naturais e principalmente antrópicas) que ocorrem nas áreas de vegetação de uma bacia

hidrográfica, por exemplo, por meio da maior ou menor presença de florestas, uma vez que a retirada, preservação ou conservação destas tem impacto direto no sequestro de carbono, tornando assim importante a recuperação dos ecossistemas naturais em áreas degradadas por meio da regeneração, adensamentos, aumentando consideravelmente a biomassa, e consequentemente o estoque de carbono fixado. A implantação (ou recuperação) destas áreas possibilita oportunidade de negócios voltados ao desenvolvimento de projetos ambientais, tornando possível a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável (MARTINS, 2004; YU, 2004; WATZLAWICK, et al., 2002 *apud* CAVALLET; PAULA, 2008).

2.3 Preservação e Conservação Florestal

Atualmente, a definição específica da categoria Floresta caracteriza-a pela presença de área mínima em superfície (entre 0,05 a 1,0 hectare), com cobertura em nível de estoque para copa das árvores e contingente entre 10% e 30% de indivíduos florísticos, com altura mínima entre 2 e 5 metros (*in situ*). Além disso, a constituição de uma floresta pode apresentar formações florestais fechadas ou abertas com povoamentos naturais jovens (mensurados a partir da copa e altura dos indivíduos), bem como áreas que se apresentam temporariamente sem formações, em decorrência de intervenção antrópica, porém, com reversão esperada e consequente retorno à condição prescrita nesta categoria (ZAKIA; PINTO, 2013).

Embora o Código Florestal em suas diferentes versões possua vários dispositivos que versam sobre Reservas Legais (RL), ou delimitação de topos de morro e áreas de restinga, como sendo Áreas de Preservação Permanente – APP (SPAROVEK, et al, 2011), um exame da versão mais recente desta legislação (Lei Nº 12.651/2012 e Lei Nº 12.727/2012) aponta quantidade elevada de exigências de caráter abusivo, além da alteração da lógica contida nas versões anteriores, onde a ampliação expressiva de mecanismos de compensação comprova o teor da liberação desmedida e irresponsável que indicam alto risco de nulidade entre as prerrogativas de restauração e compensação. Ocorre desta forma, uma flexibilização do cumprimento da Lei no que se refere a novas maneiras de contabilizar áreas previstas como RL e APP, em função do tamanho da propriedade e eventuais mudanças no que tange à adequação de desconformidades legais (AB'SABER, 2011; SPAROVEK, et al, 2011; ZAKIA; PINTO, 2013).

Não obstante, o esforço científico para institucionalizar normativas a respeito da categoria Floresta em áreas de domínio público ou privado acaba, por vezes, estando condicionado à ocupação dos representantes das classes sociais no âmbito do poder

legislativo, sobretudo latifundiários e grandes produtores agrícolas, onde ora as ações ganham mais força, ora estão enfraquecidas a depender do alcance e impacto gerados (CRIADO, 2012; CASTRO, 2013).

Por outro lado, são notáveis e inegáveis as preocupações de cunho ambiental perante as áreas alteradas e previstas na legislação atual, além da contrapartida científica, geradora de debate na busca por uma regra que represente não somente as classes sociais envolvidas, como também a diversidade das paisagens nacionais.

Apesar de a legislação ambiental ter devida importância, observa-se carência de estudos que analisem em que medida essas leis são cumpridas, quais motivações favorecem esse cumprimento e, nesse cenário, quais seriam as relações diretas entre o Estado e a sociedade civil (PEREIRA, 2013).

Dessa forma, a preservação das florestas já existentes e ações combinadas relativas a práticas de manejo florestal sustentável, regeneração florestal e reflorestamento em áreas degradadas (ou introdução de atividades agroflorestais em áreas de agricultura) são ações de extrema importância, com respaldo legal e que devem contribuir para a manutenção do equilíbrio ambiental via regime de chuvas, fluxo de água doce, conservação da biodiversidade, preservação das culturas tradicionais e mitigação das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas (BALBINOT et al., 2008; BANCO MUNDIAL, 2010).

2.4 Sensoriamento Remoto

Tradicionalmente definido como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, o sensoriamento remoto tem como objetivo estudar fenômenos, eventos e processos que ocorram na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem nas mais diversas manifestações (NOVO, 2008).

Rosa (2009) afirma que o sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de obter informações de um objeto ou alvo sem que haja contato físico com o mesmo. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou fontes artificiais como, por exemplo, o radar.

O mesmo autor também afirma que, embora esta técnica venha sendo utilizada desde 1859 (quando da descoberta do processo fotográfico), só por volta da década de 1970 o termo

sensoriamento remoto foi incorporado à linguagem científica. As técnicas de sensoriamento remoto foram amplamente utilizadas durante a Segunda Guerra Mundial, no planejamento de missões com fins militares. Porém, até então, apenas fotografias aéreas obtidas à média e baixa altitude mereciam destaque.

Segundo Jensen (2009), os produtos de sensoriamento remoto podem ser analisados através de uma ampla variedade de técnicas, as quais são divididas em processamento analógico (visual) e digital de imagens. A partir do processamento analógico ocorre o uso dos elementos fundamentais de interpretação de imagens, como escala de cinza, tom, cor, altura (profundidade), tamanho, forma, sombra, textura, localização, associação com aspectos do ambiente e arranjo. As evidências construídas a partir destes elementos convergem entre si para identificar fenômenos nas imagens e julgar sua significância.

Moreira (2011) destacou alguns fatores que contribuem para o êxito da interpretação de imagens de satélite no processamento analógico ou digital e, dentre eles, a época de obtenção da imagem e o uso do critério multitemporal de forma a analisar as mudanças no uso do solo.

Assim, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado em estudos relacionados a bacias hidrográficas, alteração de uso do solo e cobertura vegetal e emissão de carbono (RUIZ et al., 2014; RUFO; CRISTO., 2014; LEITE et al., 2014).

2.5 Sistemas de Informação Geográfica

Segundo Rosa (2011), um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como um conjunto de ferramentas computacionais, composto por equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise, a modelagem a simulação e a disponibilização de informações georreferenciadas, que possibilitam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão, relativas ao espaço geográfico.

Ainda segundo o mesmo autor, um SIG possibilita a realização de diversos tipos de análise espacial, entre as quais se destacam: a sobreposição de mapas de diferentes tipos de dados que pertencem à mesma área; a pesquisa topológica, ou seja, as relações de adjacência, coincidência e conectividade entre entidades espaciais; as operações de *buffering* ou delimitação de áreas tampão em torno de uma determinada entidade espacial; as pesquisas monocamada e multicamada que utilizam um ou mais planos de informação para a realização

de consultas, análises de redes e medições de distâncias, áreas e perímetros; as operações de Geoprocessamento, sendo as mais frequentes a junção, dissolução, corte, intersecção e união de elementos que possuem atributos em comum; a modelagem tridimensional, utilizada geralmente para fenômenos contínuos, facilitando a visualização da superfície em diferentes perspectivas; a interpolação, como o processo matemático através do qual se estima o valor de uma característica em locais onde a mesma não foi medida; e a modelagem cartográfica.

Assad et al. (2013) analisaram o uso de SIG e de ferramentas de Geoprocessamento na avaliação de terras para a agricultura com vistas à definição de práticas adequadas de manejo e conservação do solo e da água, sendo essas atribuídas a aptidão e capacidade das áreas. A utilização do SIG demonstrou a minimização dos graus de complexidade e subjetividade das estimativas feitas a partir de cruzamentos de informações sobre o meio ambiente de forma manual, possibilitando maior rapidez nas operações de sobreposição de mapas e de cálculo de áreas, obtenção de numerosos mapas temáticos e facilidade de atualização e aperfeiçoamento dos diagnósticos realizados na base cartográfica digital.

Assim, de acordo com Barbosa (2009), diversos autores utilizaram o SIG em estudos que buscam perspectivas modernas de gestão do território, ações de planejamento e ordenação ou monitoramento do espaço (considerando componentes distintas do ambiente como meio físico, biótico, ocupação humana e seu inter-relacionamento, dentre outros).

Dentre alguns autores que fizeram uso do SIG em seus trabalhos, Silva e Silva (2013) observaram a caracterização da vegetação e uso da terra na Bacia Quitéria. Em Oliveira et al. (2013), estimativas de perda de solo foram indicadas a partir de ambiente SIG utilizando diferentes fontes de dados topográficos.

Em Medeiros et al. (2015), as ferramentas foram utilizadas junto a modelagem numérica de parâmetros limnológicos em salinas solares. Já Silva et al. (2015) analisaram o processo de ocupação das margens em reservatórios urbanos do semiárido em Caicó/RN. E por fim, em Camarinha et al. (2015) ocorreu análise para avaliação econômico-ambiental da Bacia do Ribeirão Guaratinguetá, como subsídio a provisão de Pagamento por Serviços Ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa teve como objetivo geral estudar a evolução temporal do Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Una localizado no município de Ibiúna, Estado de São Paulo.

3.2 Objetivos específicos

Para atingir tal objetivo foram propostos os seguintes objetivos específicos:

1. Elaborar uma base cartográfica de apoio com informações planimétricas da área de estudo;
2. Realizar o mapeamento espaço-temporal do Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica referente aos anos de 2004, 2008 e 2012 através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento;
3. Analisar as alterações no Uso do Solo e Cobertura Vegetal do período estudado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Área de estudo

No contexto regional, a Bacia do Rio Una está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba Médio Tietê (UGRHI 10), mais precisamente dentro dos limites do município de Ibiúna, onde as águas do Rio Una juntamente com as dos Rios Sorocabuçu e Sorocamirim desembocam no reservatório da Represa de Itupararanga, a qual possui grande importância regional, como sendo o principal manancial de captação de água para grande número de municípios, além de irrigar centenas de propriedades agrícolas nos arredores (SMITH, 2005; SMA, 2012).

A região apresenta sedimentos aluvionares do Holoceno, com áreas não consolidadas, de granulação variável e cascalheiras fluviais em depósitos de calha e terraços, onde as margens do Rio Una se apresentam como formações holocênicas de depósitos aluviais, areias, argilas e conglomerados na base. As confluências dos rios que vão até à Represa de Itupararanga são planícies aluviais, como relevos de agradação, terrenos baixos e mais ou menos planos, sujeitos periodicamente a inundações. Além disso, o relevo possui topos arredondados, vertentes convexas a retilíneas, com drenagem de alta densidade (dentrítica a retangular), vales abertos a fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas (que geralmente são constituídas em relevos de degradação). As declividades médias a altas alcançam nos compartimentos mais elevados, faixas superiores a 15% podendo chegar até 100%, sendo bastante comuns com amplitudes locais de aproximadamente 100 a 300 metros (IPT, 1981b).

Do ponto de vista geomorfológico, a região é abrangida pela Unidade Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico. Observa-se que tal unidade apresenta morros altos e altitude predominante entre 900 a 1100 metros, com declividades maiores que 30%. Por outro lado, entre 800 a 900 metros de altitude são encontradas declividades que alcançam marca entre 20 e 30%. Além disso, as litologias dominantes são classificadas dentre granitos, gnaisses e migmatitos, tendo por solos dominantes o podzólico vermelho-amarelo, o latossolo-vermelho-amarelo e alguns cambissolos (IPT, 1981a).

A Figura 1 apresenta a área da Bacia Hidrográfica do Rio Una localizada no município de Ibiúna, porção Sudeste do Estado de São Paulo.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Sales (2015) ; adaptado pela autora (2015).

Devido a interação entre material de origem, relevo, cobertura vegetal, clima e tempo de atuação desses fatores sobre o embasamento geológico, a área encontra-se com potencial de alta fragilidade, visto as formas muito dissecadas, vales entalhados, alta densidade de drenagem e áreas sujeitas a processos erosivos agressivos, propensas a movimentos de massa e erosão linear com voçorocas. Ocorrem ainda áreas aptas para lavouras temporárias ou permanentes e também áreas aptas para pastagem e reflorestamento, com capacidade de uso predominantemente limitada pela erosão (ou risco de erosão) e, em alguns pontos, limitações pelo excesso de água no solo (ANDREOTI, 2012).

As características do setor agrícola indicam vocação para culturas especiais de ciclo longo (arbóreos), porém com predominância regular para pastagem plantada e manejo de médio nível tecnológico, havendo também aptidão para silvicultura e pastagem natural (ANDREOTI, 2012).

No que diz respeito ao clima, a região é classificada pelo tipo Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente) da Classificação Climática de Koeppen, com média de temperatura de 19,1°C (mínima de 8,5°C, em julho e máxima de 27,6°C entre janeiro e fevereiro) e pluviosidade anual média de 1308.8 mm, concentrada entre os meses de outubro a março. Elevada pluviosidade ocorre no setor mais montanhoso da região, sujeita a infiltrações do ar úmido litorâneo que somado a forte presença de radiação solar, típica das latitudes

tropicais, também acaba por criar fatores contribuintes ao desenvolvimento da cobertura pedológica (MIRANDA et al., 2005).

Dessa forma, a área da Bacia Hidrográfica, é pertencente ao Domínio Morfoclimático dos “Mares de Morros” Florestados, indicada pela região de floresta com característica pluvial, tropical e Atlântica. Ademais, houve a formação de novos quadros de paisagens, oriundos da introdução de massas d’água no meio dos morros através de reservatórios, inferindo remodelação paisagística, em escala regional (AB’SABER, 2010).

Ocupam a área, segundo dados do último censo e decorrentes atualizações, cerca de 71.000 habitantes, dos quais 35% ou 25.000 encontram-se na zona urbana e 65% ou 46.000 habitantes são residentes da zona rural. A densidade demográfica é de 67,31 habitantes/km² (IBGE, 2010).

4.1.2 Material cartográfico

Para a extração das informações planimétricas foi utilizada a carta topográfica do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1979), na escala 1:10.000, editada no sistema de projeção UTM, Datum horizontal Córrego Alegre (MG), Datum vertical Marégrafo Imbituba (SC), meridiano central 51° W Gr., com equidistância das curvas de nível de 5 metros (IBGE, 1984).

Os mapas temáticos de uso do solo foram constituídos a partir de imagens orbitais dos satélites e sensores do *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 5), sensor *Thematic Mapper* (TM); e do *Système Pour l’Observation de la Terre* (Spot 5), sensor *High Resolution Geometric* (HRG).

As imagens de satélite do *Landsat 5* foram adquiridas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e as imagens do satélite Spot 5 foram cedidas pela a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), ambas distribuídas de forma gratuita.

A Tabela 1 mostra as características dos satélites e sensores utilizados no trabalho.

Tabela 1 – Características dos sensores dos satélites Landsat-5 e Spot-5

Satélite/Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Resolução radiométrica	Área imageada
Landsat 5 <i>Thematic Mapper</i>	B3 (Vermelho)	0,63–0,69 μm	30 m	16 dias	8 bits	185 km
	B4 (Infravermelho Próximo)	0,76–0,90 μm				
	B5 (Infravermelho Médio)	1,55– 1,75 μm				
Spot 5 <i>High Resolution Geometric</i>	B1	0,50 –0,59 μm	10 m	26 dias	8 bits	60 X 60 km
	B2	0,61–0,68 μm				
	B3	0,78– 0,89 μm				
	PA e SUPERMODE	0,48– 0,71 μm	5 m ou 2,5 m			

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2009); adaptado pela autora (2015).

4.1.3 Modelagem e tratamento dos dados

Para as tarefas de modelagem e tratamento cartográfico dos dados foram utilizados os sistemas computacionais abaixo relacionados:

- AutoCAD *Map 3D* (versão 2012); e
- SIG *ArcGIS / ArcMap* 10.1 (ESRI, 2012);

Todo material cartográfico produzido foi representado no Datum WGS-84 (*World Geodesic System* 1984).

Para as tarefas de edição de planilhas, tabelas simples e dinâmicas, bem como de cálculos matemáticos e estatísticos foi utilizado o software *Excel* (Pacote *Microsoft Office*, 2010).

4.2 Métodos

4.2.1 Elaboração da base cartográfica de estudo

A digitalização e vetorização da carta topográfica realizada no *AutoCAD Map 3D* (Auto Desk, 2012) permitiu a obtenção das informações planimétricas, tais como estradas e hidrografia, bem como as informações altimétricas como curvas de nível e pontos cotados. A partir desse conjunto foi possível obter os limites da bacia por intermédio da definição dos pontos de maiores altitudes e rede de drenagem da área de estudo para os rios a montante e a jusante, tendo como eixo principal o Rio Una.

Em seguida, as informações geradas foram transferidas para o software *ArcGIS 10.1* para tratamento cartográfico por meio dos módulos *Arc Catalog*, *Arc Map* e *Arc Toolbox* (ESRI, 2012), mantendo-se as informações do sistema de referência UTM, Datum WGS-84.

As imagens dos satélites Landsat-5 e Spot-5 foram georrefenciadas a partir das coordenadas extraídas da base cartográfica de apoio e posterior retificação de campo.

4.2.2 Análise de imagens e Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Sobre as imagens de satélite do sensor *Landsat 5* dos anos 2004 e 2008, foi realizada a composição falsa cor em RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) considerando as bandas nos comprimentos de onda Infravermelho Médio, Infravermelho Próximo e Vermelho, respectivamente as bandas 5, 4 e 3, que segundo Florenzano (2002), vem a ser a composição que melhor destaca a vegetação e os corpos hídricos de outros usos, especialmente em áreas urbanas.

Dessa forma, a combinação de canais e filtros para uma composição colorida é condição básica para melhor compreender o comportamento espectral do alvo de interesse, evitando-se desprezar faixas espectrais de grande significância na discriminação da superfície terrestre e dos fatores que interferem no comportamento do meio ambiente (NOVO, 2008).

Em seguida foi empregado o método de Classificação Supervisionada Multivariada de Máxima Verossimilhança no processo de identificação das classes temáticas visando o mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal para os anos de 2004 e 2008. Essa técnica utiliza média e covariância de amostras de treinamento para computar a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencente a uma determinada classe reconhecida em campo. Depois da avaliação probabilística, o pixel é assinalado à categoria de maior probabilidade (LIU, 2007).

Com as imagens do sensor Spot 5 do ano 2012 foi realizada composição colorida com as bandas nos comprimentos de onda do Infravermelho Próximo, Infravermelho Médio e Vermelho, bandas 2, 3 e 1, que permitem a visualização denominada cor verdadeira, sendo então construído o mapa temático do uso do solo e cobertura vegetal para o ano de 2012. Neste caso foi utilizado além do método de Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança, o processo de identificação e extração de algumas classes específicas por meio de vetorização, tais como, matas e áreas urbanas.

As cinco categorias de uso do solo foram adaptadas a partir do Guia de Boas Práticas para mapeamento do Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (IPCC, 2003) conforme a seguir: Floresta, Campo, Agricultura, Áreas urbanas, Áreas alagadas, acrescidas das informações vetorizadas a partir da carta de apoio gerada no item 4.2.1., como hidrografia e estradas.

A categoria Floresta considera matas e reflorestamento. A categoria Campo indica campo com alterações humanas pouco significativas e pastagem. A categoria Agricultura designa área cultivada com qualquer tipo de lavoura. A categoria Áreas Urbanas constitui área de localização interna ao perímetro urbano da cidade, caracterizando-se por todo tipo de edificações como equipamentos sociais, habitação, circulação, entre outros. E por fim, a categoria Áreas Alagadas é formada por lagos, rios e reservatórios.

4.2.3 Acurácia do mapeamento de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A exatidão do mapeamento foi determinada a partir de matrizes de erros ou de contingência, as quais são constituídas em igualdade de número de linhas e colunas, e representam o confronto entre o resultado da classificação (mapa temático ou classificação) e a verdade terrestre, como referência (BARBOSA, 2009; DEMARCHI, et al. 2011).

Dessa forma, a avaliação de desempenho para determinada classificação é dada a partir de critérios quantitativos, estando dentre os principais métodos de avaliação de qualidade aqueles baseados em uma matriz de confusão, que expressa a relação do número de unidades de amostra atribuído a uma categoria particular de duas classificações (PASSO, 2013).

A diagonal principal dessa matriz de erro apresenta a quantidade dos pontos selecionados para o teste de acurácia que foram corretamente indicados para cada uma das classes. As demais células contidas na matriz apresentam a quantidade de pontos classificados incorretamente, tomando como referência a verdade de campo (QUARTAROLI, 2006).

Assim, a avaliação da acurácia pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância (derivados da matriz) e permitir a obtenção de um grau de confiabilidade das categorias classificadas na imagem sob diferentes perspectivas (PASSO, 2013).

Neste trabalho optou-se pela utilização do Índice de Exatidão Global e do Coeficiente Kappa.

O Índice de Exatidão Global (G) apresenta valores distintos quando comparado a outros índices, pelo fato de considerar apenas a diagonal principal da matriz de erros, ignorando a ocorrência de concordância casual entre as classes (BRITES et al., 1996). Ponzoni e Rezende (2002), o descrevem da seguinte maneira:

$$G = \sum n_{ii} / N \quad (1)$$

Sendo:

G a exatidão global;

n_{ii} o número de elementos da diagonal da matriz de confusão e;

N o número total de observações.

Os mesmos autores descrevem o Índice Kappa a partir da seguinte expressão:

$$k = \frac{N \sum x_{ii} - \sum x_i + x_{+i}}{N^2 - \sum x_i + x_{+i}} \quad (2)$$

Em que:

N = número total de observações;

x_{ii} = elementos da diagonal principal da matriz; e

$x_i + x_{+i}$ = somatório dos elementos da linha e coluna, respectivamente.

O valor de k expressa a concordância entre a classificação dos dados contidos nos produtos de sensoriamento remoto considerados e a realidade (verdade terrestre), mostrando a qualidade da classificação conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de mapas para valores Kappa

VALOR DE KAPPA	QUALIDADE
< 0,00	Péssimo
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptada de Landis e Koch (1977) citado por Moreira (2011).

4.2.4 Análise da mudança do Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A análise das alterações e mudanças no uso do solo e cobertura vegetal foi realizada a partir da construção de matrizes de transição entre as categorias para os períodos 2004 a 2008 e 2008 a 2012. Desta forma, foi possível quantificar as áreas que permaneceram sob uma mesma categoria entre os anos inicial e final do período (diagonal da matriz) e aquelas que sofreram conversão de uso do solo e cobertura vegetal no mesmo período – fora da diagonal da matriz (FUNCATE, 2012).

A análise de informações sobre a homogeneidade dos tipos de cobertura da superfície entre cada um dos dois períodos analisados, possibilitou o estabelecimento de linhas-de-base para os levantamentos relacionados a mudanças de uso do solo e cobertura vegetal na área de estudo, sendo estes (Tabela 3):

- Aquelas que permaneceram sob uma mesma categoria de uso do solo e cobertura vegetal durante o período do ano inventariado;
- Aquelas que foram convertidas para outras categorias no mesmo período.

Tabela 3 – Exemplo da matriz de transição

(continua)

		A no 2						
		Uso 1	Uso 2	Uso 3	•	•	Uso n	Total Ano 1
A n o 1	Uso 1							
	Uso 2							
	Uso 3							
	•							

(continuação)

•							
Uso n							
Total							
Ano 2							

Fonte: Funcate (2012); adaptado pela autora (2015).

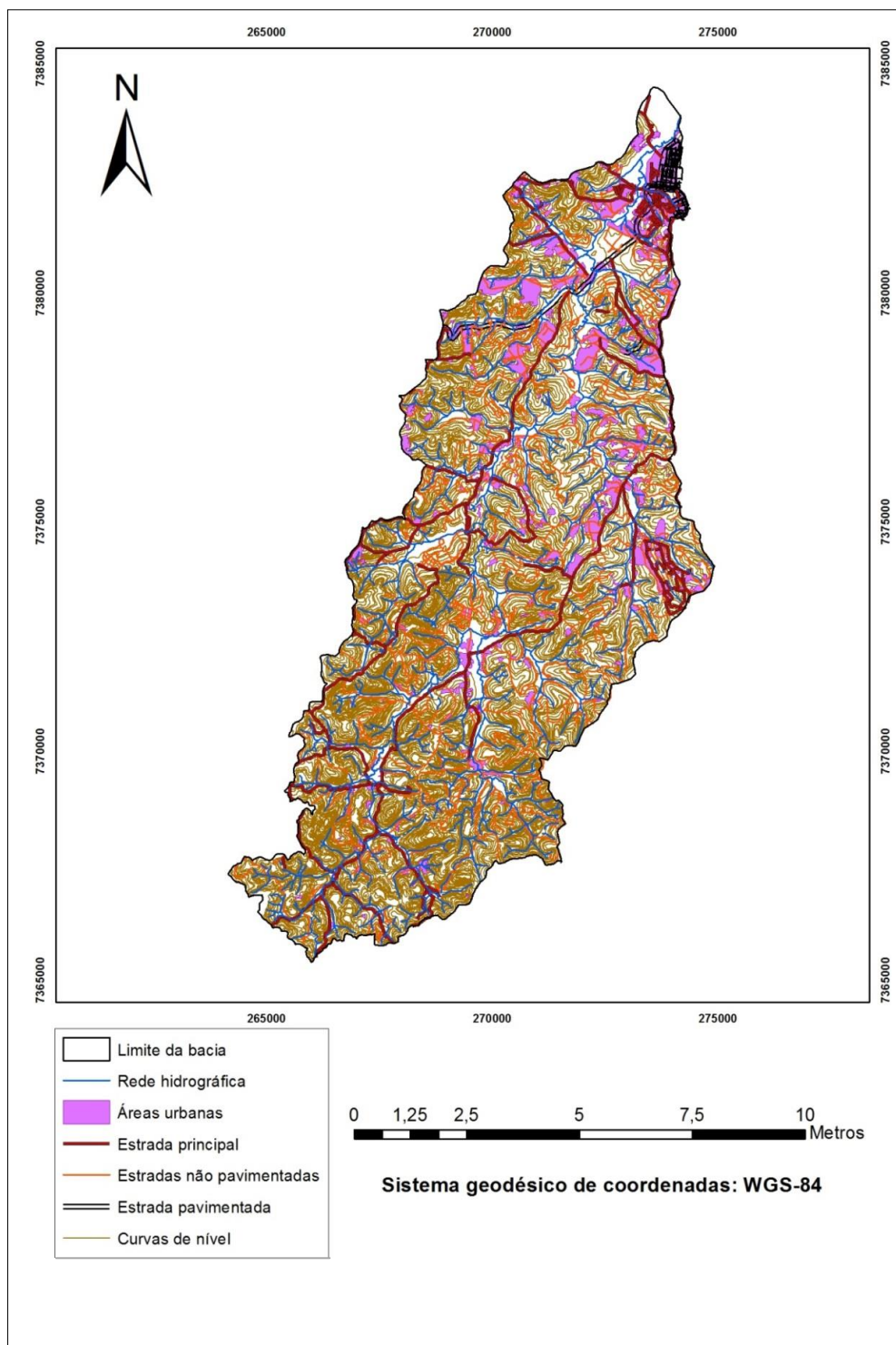
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mapeamento cartográfico de apoio

A Bacia apresenta área total de 96,39 quilômetros quadrados (km²) ou 9.639 hectares (ha), rede de drenagem com escoamento seguindo a direção Noroeste ao longo do curso do rio principal, topografia ondulada, além de boa rede de estradas, principalmente vicinais, circundando a maior parte da bacia e permitindo a integração de importantes vias de acesso que favorecem o escoamento da produção agrícola.

A Figura 2 apresenta o Mapa cartográfico de apoio com as informações planimétricas da área de estudo.

Figura 2 - Mapa cartográfico de apoio

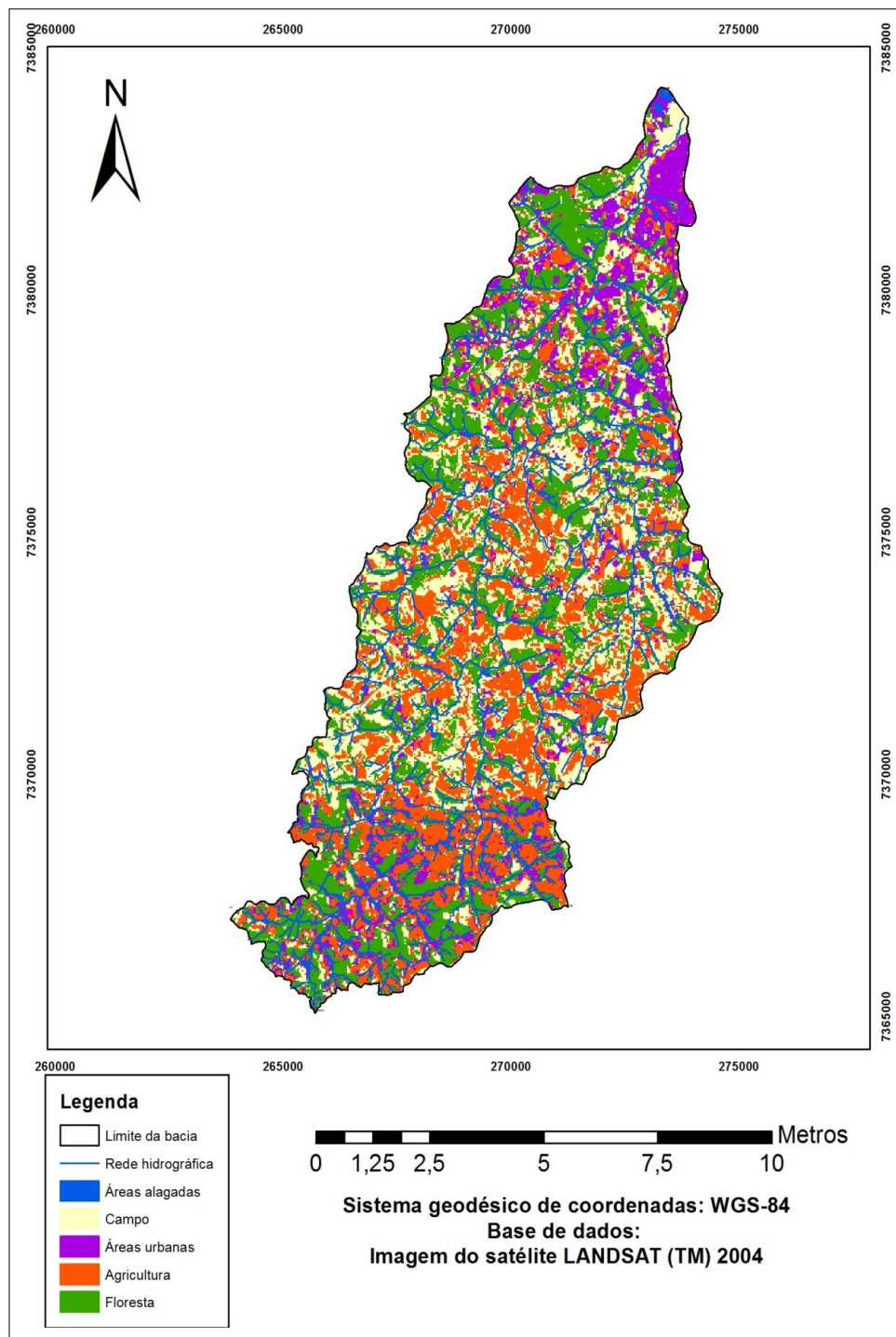


Fonte: Autoria própria.

5.2 Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A Figura 3 mostra o Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2004 da área de estudo.

Figura 3 – Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano 2004



Fonte: Autoria própria.

No ano de 2004 (Figura 3) foi observada predominância da ocupação do solo pela categoria floresta com 31%, localizada de forma dispersa por toda a extensão da bacia. Na sequência, a área de agricultura alcançou 28% delimitando junto a categoria floresta mais da metade do uso do solo na bacia.

As áreas de campo apresentaram 25% com ênfase para as regiões centrais, bem como as áreas urbanas que foram identificadas com 13. A categoria com menor uso foi áreas alagadas, com 3% de ocorrência.

A Tabela 4 mostra os valores em hectares e a porcentagem para cada uma das categorias apresentadas.

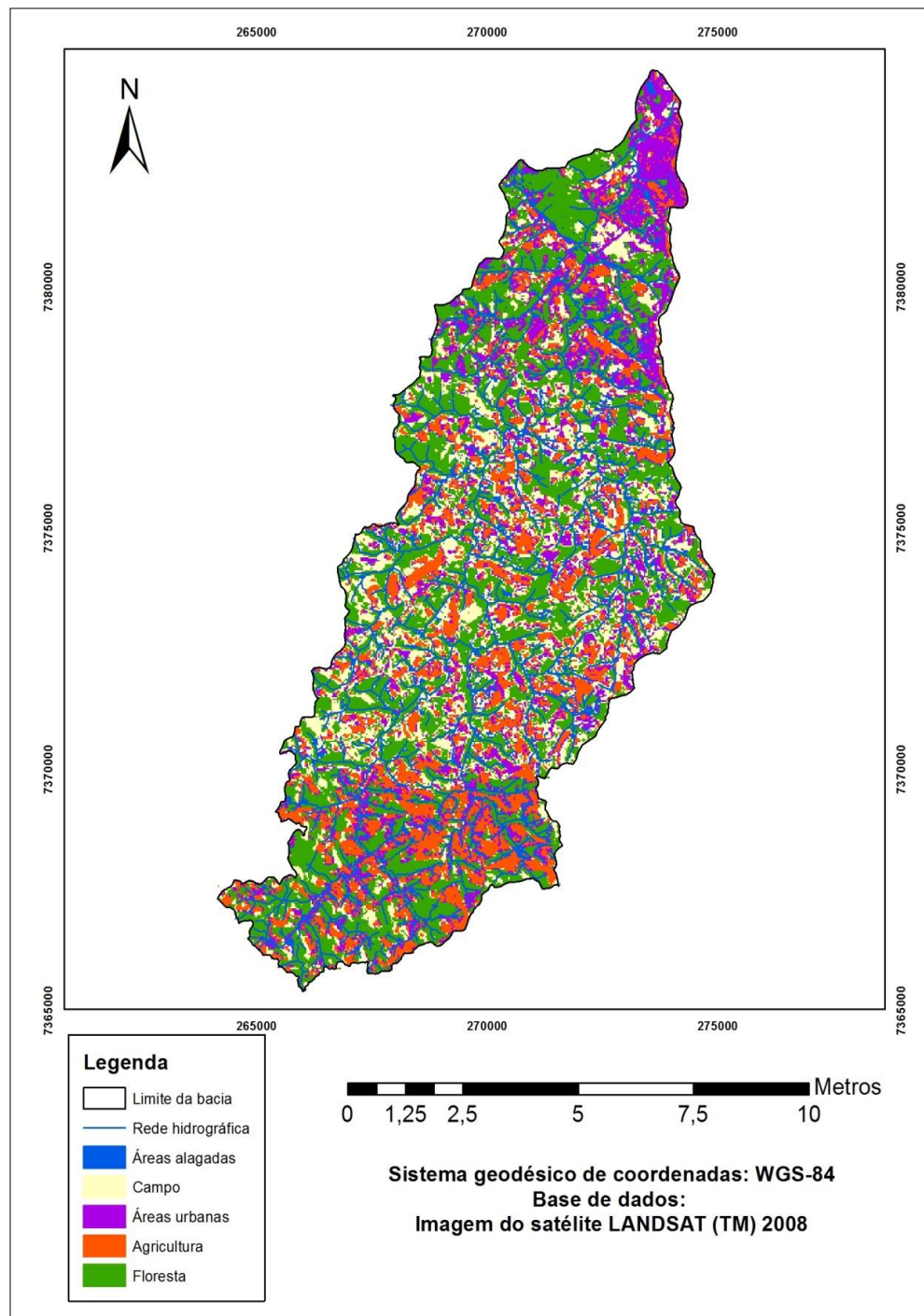
Tabela 4 – Quantificação das classes de uso do solo para o ano de 2004

CLASSES DE USO DO SOLO (2004)	ÁREA POR HA	% TOTAL
Floresta	2.939	31
Campo	2.461	25
Agricultura	2.693	28
Áreas urbanas	1.225	13
Áreas alagadas	321	3
ÁREA TOTAL	9.639	100

Fonte: Autoria própria.

A Figura 4 mostra o Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2008.

Figura 4 – Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano 2008



Fonte: Autoria própria.

Para o ano de 2008 (Figura 4) a categoria agricultura liderou a incidência de uso com 31%. Em seguida, foi observada a categoria floresta com 26%, seguida das áreas de campo com incidência de 20%. As áreas urbanas aparecem com 17% e as áreas alagadas com 6%, novamente sendo estas as de menor ocorrência na análise.

Destaca-se o aumento identificado em duas categorias distintas em relação ao ano de 2004, onde é observado aumento das áreas urbanas na ordem de aproximadamente 30%, além da categoria agricultura com situação similar, que alcançou 11%. A Tabela 5 mostra as respectivas categorias e os valores obtidos.

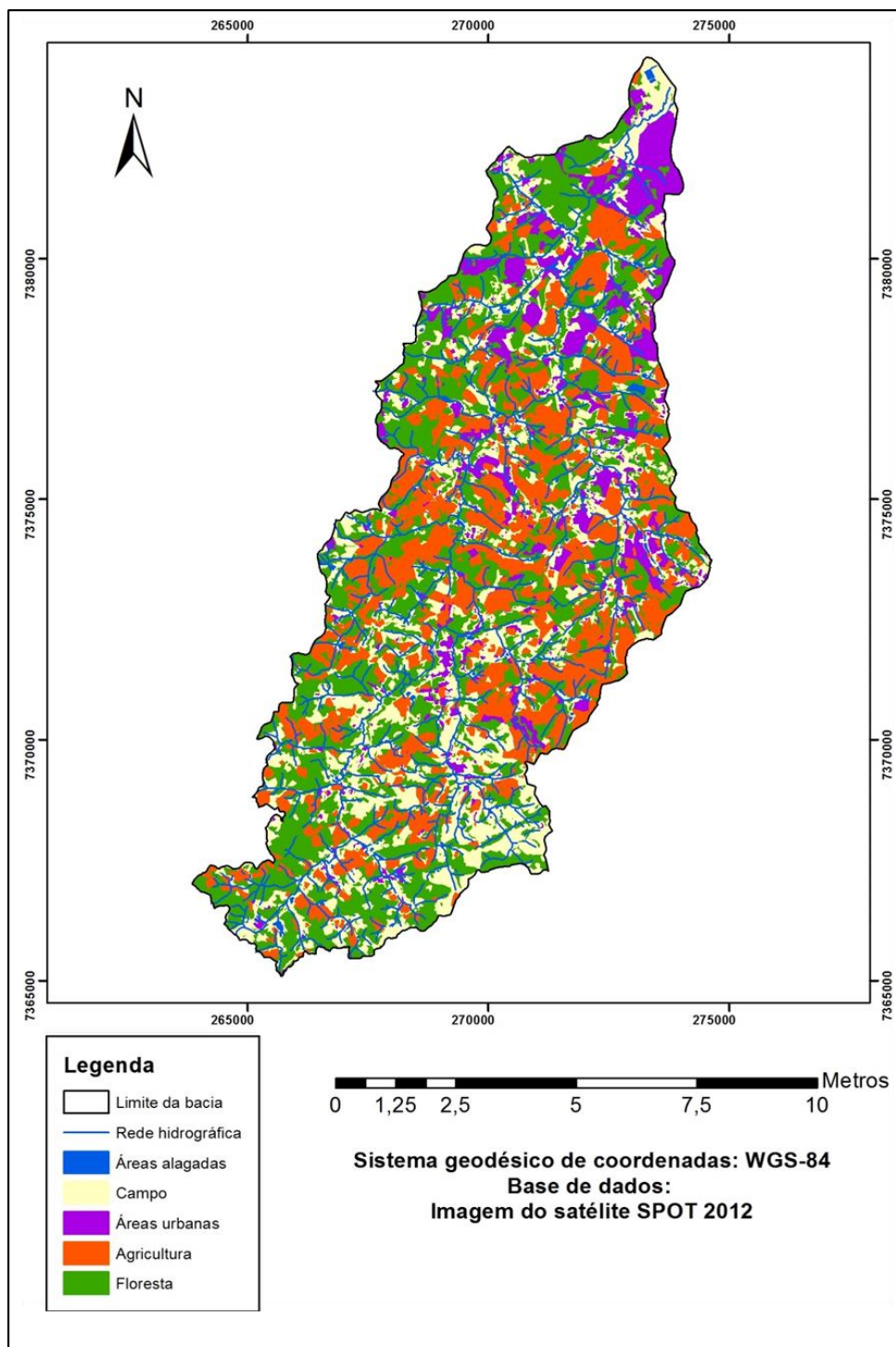
Tabela 5 – Quantificação das classes de uso do solo para o ano de 2008

CLASSES DE USO DO SOLO (2008)	ÁREA POR HA	% TOTAL
Floresta	2.585	26
Campo	1.942	20
Agricultura	2.887	31
Áreas urbanas	1.656	17
Áreas alagadas	569	6
ÁREA TOTAL	9.639	100

Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 apresenta o Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2012.

Figura 5 – Mapa do uso do solo e cobertura vegetal do ano 2012



Fonte: Autoria própria.

Em 2012, foi possível verificar que a bacia demonstrou a tendência consolidada de diminuição das áreas de florestas (22%), que se igualam as áreas de campo (22%). Além disso, o aumento das áreas de agricultura (35%) e urbanas (20%), levam à inferência de que o considerável recuo das áreas alagadas (1%) pode ter demonstrado possível aumento da demanda, aliado a fatores de sazonalidade quanto ao período de chuvas.

Destaca-se ainda, o aumento identificado em três categorias em relação ao ano de 2008, onde notou-se mais uma vez o aumento das áreas urbanas na ordem de aproximadamente 18%, além da categoria agricultura com situação similar, que alcançou 13%. A Tabela 6 mostra as respectivas categorias e os valores obtidos.

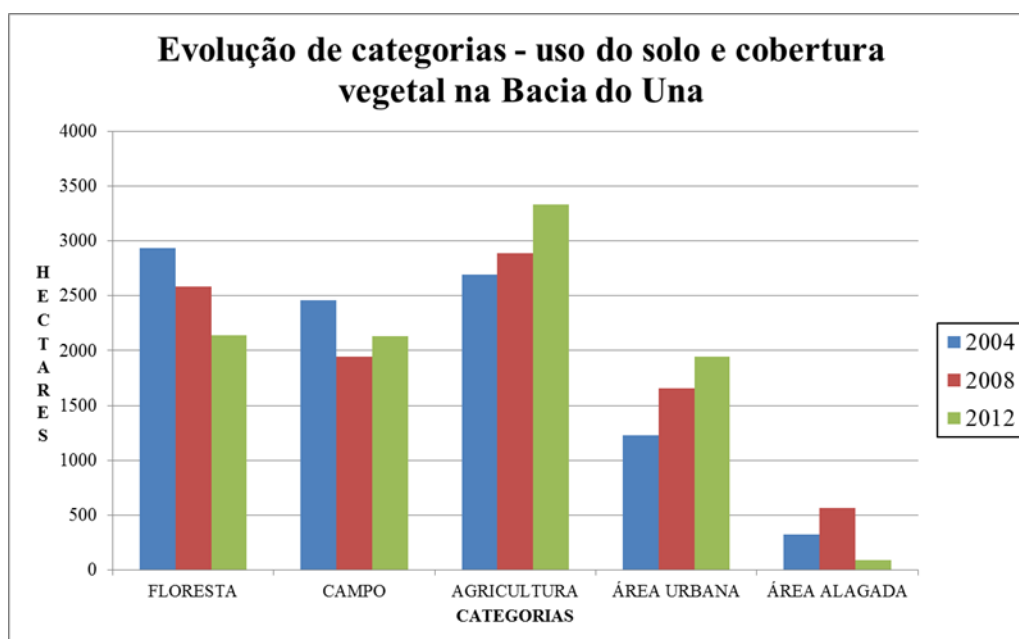
Tabela 6 – Quantificação das classes de uso do solo para o ano de 2012

CLASSES DE USO DO SOLO (2012)	ÁREA POR HA	% TOTAL
Floresta	2.144	22
Campo	2.130	22
Agricultura	3.335	35
Áreas urbanas	1.944	20
Áreas alagadas	86	1
ÁREA TOTAL	9.639	100

Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 compara a evolução dos três anos de análise para os usos do solo e cobertura vegetal por categorias distintas.

Figura 6 – Gráfico da evolução das categorias de uso do solo e cobertura vegetal



Fonte: Autoria própria.

Apesar da Figura 6 apresentar dados que demonstraram recuo na categoria Floresta, oscilações nas categorias Campo e Áreas alagadas e aumento das categoriais Agricultura e Áreas urbanas nas respectivas quantidades de hectares, componentes temporais podem ter atuado na mudanças entre categorias, como por exemplo, entre Agricultura e Campo a ocorrência de aumento da primeira e redução da segunda, as modificações podem ter sido ocasionadas de forma sazonal, como resultado da época de passagem do satélite e obtenção da imagem, onde para a imagem Landsat observa-se meados de Agosto (tanto para 2004, como para 2008) e para a imagem Spot, o mês de Maio (em 2012).

Além disso, estudo de outra bacia hidrográfica no mesmo município demosntrou que foi similar a ocorrência e aumento de áreas com campo, com predominância de braquiária, seja por abandono onde essa espécie encontra isento de cobertura vegetal ou devido a pequenas criações de gado (LORCA NETO, 2013).

As áreas com presença de agricultura estão associadas principalmente ao cultivo de itens hortifrutiganeiros, onde foi dada ênfase às hortaliças, tanto convencionais, como hidropônicas e orgânicas. O represamento de água para abastecimento e irrigação em propriedades rurais é frequente, corroborando assim para a retirada da cobertura vegetal (KERBER, 2009).

A vinda de novos habitantes (provindos de municípios mais próximos, com maior destaque para a região metropolitana, como Cotia, Osasco, Carapicuíba e São Paulo) caracterizou o aumento geral da população em aproximadamente 32.000 habitantes na década de 1980 para 49.000 habitantes na década de 1990 e 64.000 habitantes no ano 2000, segundo dados censitários do IBGE (COUTO, 2007).

O crescimento populacional relativo à área urbana também pode ser destacado a partir da observação dos dados constatados nos dois últimos censos demográficos (anos 2000 e 2010), como fato a ser considerado no que diz respeito ao aumento do contingente de população urbana, onde o primeiro apresentou aproximadamente 21.000 habitantes e o segundo ano citado apresentou aproximadamente 25.000 habitantes.

No que se refere à expansão urbana, esta é comumente associada ao aumento de aglomerações ou construções de condomínios fechados, loteamentos e residências secundárias (construções destinadas à visitação em finais de semana e feriados) por exemplo, principalmente devido à oferta de estabelecimentos imobiliários que obteve períodos promissores, em meados dos anos de 2005 a 2008. A abertura de veículos imobiliários tinha como principal atrativo facilidades de pagamento, preços de venda de imóveis abaixo da média em comparação com outros municípios vizinhos e, por fim o apelo ambiental, mediante presença e acesso privativo a quedas d'água e trilhas ecológicas (COUTO, 2007).

Dessa forma, fundamentam-se alguns argumentos que podem indicar a tendência de diminuição das áreas de cobertura vegetal (Florestas) e subsequente diminuição potencial hídrico.

5.3 Acurácia do mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A partir dos mapeamentos apresentados foi realizada a acurácia de tais produtos cartográficos obtidos. No ambiente *ArcGIS* foram criados 171 pontos de amostragem para a área da bacia e estes foram sobrepostos nas imagens de satélite das respectivas composições coloridas de cada um dos anos de análise (consideradas verdade de campo), sendo possível identificar o uso do solo coincidente ao ponto, a partir de interpretação visual das imagens.

Em seguida, foram sobrepostos os mesmos pontos de amostragem sobre o mapa temático do uso do solo e cobertura vegetal e foi realizada a comparação entre o que se encontrava demonstrado no mapeamento de uso e o que estava identificado nas composições coloridas das imagens de satélite, considerando os respectivos anos de análise.

Assim, foram inseridos os dados de confronto na matriz de confusão, elaborada no Access, ambiente de inserção e armazenamento do aplicativo AVAliador de Classificação de Imagens – AVACIM (PRINA, et al., 2014), que executou procedimentos de automação de rotinas para interpretação com os dados referentes à classificação digital de imagens e a verdade de campo.

No caso da matriz de erros ou de confusão, esta se configurou por meio de tabulação cruzada entre os planos de informação referentes à interpretação visual das imagens, consideradas como verdade campo (referência), e a classificação supervisionada (linhas) (MARTINHO, 2010).

A matriz identifica o erro global da classificação para cada classe temática e expõe como ocorreram os conflitos entre elas, mas principalmente exhibe os pixels classificados corretamente na diagonal principal (BRITES, 1996). Foram demonstrados também os erros de omissão e inclusão, respectivamente, que denotam no primeiro caso a incidência de determinada feição que deveria ser classificada em dada classe temática e é classificada como pertencente a outra classe. Por sua vez, os erros de inclusão surgem quando uma feição é classificada como pertencente a uma classe temática não correspondente a classe esperada (LEÃO et al., 2007).

Para cada ano analisado, as matrizes de confusão foram apresentadas a seguir, onde encontram-se os valores referentes ao ano de 2004, na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de confusão para a imagem referência e o mapeamento do ano 2004

CLASSES 2004		IMAGEM DE REFERÊNCIA						
		Floresta	Campo	Agricultura	Áreas urbanas	Áreas alagadas	Total/linha	Inclusão
M A P A	Floresta	49	5	2			56	0,125
	Campo	2	33	4			39	0,1538
	Agricultura		6	43	1		50	0,14
	Áreas urbanas	1	3	10	9		23	0,6087
	Áreas alagadas		1		1	2	4	0,5
	Total/coluna	52	48	59	11	2	171	
	Omissão	0,0577	0,3125	0,2712	0,1818	0		

(continuação)

Fonte: Autoria própria.

Na linha 1 referente a classe Floresta (Tabela 7), do total de 56 pontos avaliados, 49 foram classificados corretamente e 7, erroneamente, pois pertencem a outras classes (Campo e Agricultura), o que configura erro de inclusão.

A avaliação da coluna para a mesma classe (Floresta) indica que 3 pontos pertencentes ao que foi considerado como sendo verdade de campo, foram classificados como pertencentes a outra classe, o que configura erro de omissão, e assim sucessivamente para cada classe temática.

Os valores expressos na Tabela 8 indicam as análises pertinentes a 2008.

Tabela 8 – Matriz de confusão para a imagem referência e o mapeamento do ano 2008

CLASSES 2008		IMAGEM DE REFERÊNCIA						
		Floresta	Campo	Agricultura	Áreas urbanas	Áreas alagadas	Total/linha	Inclusão
M A P A	Floresta	47	12	4			63	0,254
	Campo		30	8	1		39	0,2308
	Agricultura		2	24	1		27	0,1111
	Áreas urbanas		7	9	15		31	0,5161
	Áreas alagadas	2	2	3		4	11	0,6364
	Total/coluna	49	53	48	17	4	171	
	Omissão	0,0408	0,434	0,5	0,1176	0		

Fonte: Autoria própria.

Na linha 1 referente a classe Floresta (Tabela 8), do total de 63 pontos avaliados, 47 foram classificados corretamente e 16, erroneamente, pois pertencem a outras classes (Campo e Agricultura), o que configura erro de inclusão.

A avaliação da coluna para a mesma classe (Floresta) indica que 2 pontos pertencentes ao que foi considerado como sendo verdade de campo, foram classificados como pertencentes a outra classe, o que configura erro de omissão, e assim sucessivamente para cada classe temática.

Por fim, os valores expressos na Tabela 9 indicam as análises pertinentes a 2012.

Tabela 9 – Matriz de confusão para a imagem referência e o mapeamento do ano 2012

CLASSES 2012		IMAGEM DE REFERÊNCIA						
		Floresta	Campo	Agricultura	Áreas urbanas	Áreas alagadas	Total/ linha	Inclusão
M A P A	Floresta	70	4	1	1		76	0,0789
	Campo		24				24	0
	Agricultura	4	2	41			47	0,1277
	Áreas urbanas	4			17		21	0,1905
	Áreas alagadas		1			2	3	0,3333
	Total/ coluna	78	31	42	18	2	171	
	Omissão	0,1026	0,2258	0,0238	0,0556	0		

Fonte: Autoria própria.

Na linha 1 referente a classe Floresta (Tabela 9), do total de 76 pontos avaliados, 70 foram classificados corretamente e 6, erroneamente, pois pertencem a outras classes (Campo, Agricultura e Áreas urbanas), o que configura erro de inclusão. A avaliação da coluna para a mesma classe (Floresta) indica que 8 pontos pertencentes ao que foi considerado como sendo verdade de campo, foram classificados como pertencentes a outra classe, o que configura erro de omissão, e assim sucessivamente para cada classe temática.

Na sequência o aplicativo AVACIM forneceu os resultados pertinentes à Exatidão Global e ao Coeficiente Kappa, sendo possível a composição e posterior comparação da Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 – Classificação de mapas para valores Exatidão Global e Kappa

MAPEAMENTOS /CLASSIFICAÇÕES DE IMAGEM (ANO)	EXATIDÃO GLOBAL	COEFICIENTE KAPPA	QUALIDADE
2004	0,79	0,71	Muito boa
2008	0,70	0,60	Boa
2012	0,90	0,85	Excelente

(continuação)

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visto, os mapeamentos apresentaram resultados significativos entre as imagens de referência e as classificações supervisionadas, que resultaram nos mapeamentos do uso do solo e cobertura vegetal, sendo que o ano de 2012 apresentou os melhores resultados. Já os anos de 2004 e 2008, apesar de resultados menores, apresentaram níveis considerados de boa concordância.

5.4 Estudo das alterações no Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Para esta análise foram geradas matrizes de transição entre os pares de anos 2004-2008 e 2008-2012, a partir dos mapas uso do solo e cobertura vegetal. A Tabela 11 apresenta a área estimada pela unidade ha em cada uma das transições observadas entre 2004 e 2008 na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Tabela 11 – Áreas das transições identificadas no período de 2004 a 2008

ÁREA (HA)			ANO 2008					
		Floresta	Campo	Agricultura	Áreas urbanas	Áreas alagadas	Não observadas	Total 2004
ANCO 2004	Floresta	1.831	319	101	169	113		2.533
	Campo	158	833	631	414	144		2.180
	Agricultura	507	586	1.858	599	133		3.683
	Áreas urbanas				406			406
	Áreas alagadas					51		51
	Não observadas	89	204	297	68	128		786
	Total 2008	2.585	1.942	2.887	1.656	569	0	9.639

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visto na Tabela 11, a soma das alterações que representa o valor total de mudanças entre os diferentes tipos de usos do solo e cobertura vegetal foi de 4660 há, de um total de 9639 ha, mapeados a partir das categorias de uso e cobertura analisadas. Da mesma forma, 4979 ha (somatório da diagonal) permaneceram sem alteração.

O uso que permaneceu isento de alterações foi a Agricultura, onde se verificou também as maiores quantidades de áreas de transição. Os hectares que não obtiveram

classificação em nenhuma das cinco categorias disponíveis foram indicados na linha “não observados”, obtendo-se na Agricultura a maior quantificação.

Observou-se ainda que alterações subsequentes nas quatro primeiras categorias estabelecidas nas linhas, apresentaram em sequencia os maiores valores de mudança indicando tendência quanto a evolução do uso do solo (Floresta para Campo, Campo para Agricultura e Agricultura para Áreas urbanas).

A Tabela 12 apresenta a área estimada pela unidade ha em cada uma das transições observadas entre 2008 e 2012 na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Tabela 12 – Áreas das transições identificadas no período de 2008 a 2012

ÁREA (HA)		A NO 2012					
		Floresta	Campo	Agricultura	Áreas urbanas	Áreas alagadas	Não observadas
A N O 2 0 0 8	Floresta	1.208	452	582	633	12	
	Campo	404	671	933	131	9	
	Agricultura	450	745	1.495	302	26	
	Áreas urbanas				802		
	Áreas alagadas					28	
	Não observadas	82	262	325	76	11	
	Total 2012	2.144	2.130	3.335	1.944	86	0

Fonte: Autoria própria.

A partir de verificação na Tabela 12, o somatório das alterações representante do valor total de mudanças entre os diferentes tipos de usos do solo e cobertura vegetal, foi de 5435 ha de um total de 9639 ha. Igualmente a análise anterior, os 4204 ha encontrados a partir do somatório da diagonal conservaram-se sem alteração.

Novamente o uso que permaneceu isento de alterações foi a Agricultura, não seguindo a tendência verificada no primeiro período, onde as maiores quantidades de mudança temporal são verificadas na categoria Campo. Os hectares “não observados” mantiveram-se na Agricultura, assim como no primeiro período, com maior quantificação.

Diferentemente do primeiro período de análise constatou-se que as alterações apresentadas nas linhas não seguiram a sequencia de altos valores de mudança, de forma subsequente a quantidade de ha identificadas nos usos; assim, a tendência do segundo período

aponta outra configuração, no que se refere à evolução do uso do solo (Floresta para Áreas urbanas, Campo para Agricultura e Agricultura para Campo).

6 CONCLUSÕES

A pesquisa realizada possibilitou demonstrar por meio de procedimentos analíticos, bem como a partir da produção de informações cartográficas correlatas à análise de dados espectrais e espaciais, que a Bacia Hidrográfica do Rio Una tem apresentado significativas alterações ao longo do tempo.

As diversas alterações observadas permitiram a realização de diagnóstico e caracterização da área, conforme os períodos analisados, que podem contribuir significativamente com políticas de gestão para os setores: agrícola (sobretudo a horticultura), de expansão urbana controlada, de conservação de áreas com pastagem (previnindo o abandono das mesmas ou a degradação), bem como a preservação das áreas de cobertura vegetal, bem como dos recursos hídricos.

Em que pese neste estudo, as observações realizadas e as constatações de modificação na dinâmica da paisagem, com aumento de hectares em categorias como agricultura, campo e áreas urbanas torna possível a reflexão a respeito de normativas relacionadas ao Código Florestal, por exemplo, e no seu potencial de contribuição com a proteção de áreas potencial e estrategicamente importantes, como aquelas que contém remanescentes de Mata Atlântica e tributários indispensáveis ao abastecimento público de áreas com maiores aglomerados urbanos.

A investigação das formas de uso do solo e cobertura vegetal na área da bacia demonstrou-se importante, uma vez que o estudo desenvolvido oferece constatações a respeito da destinação empregada pelo ser humano, podendo estas serem equilibradas ou destrutivas no sentido de impactar negativamente áreas prioritárias e fornecedoras de recursos naturais que estão diretamente ligados à Agricultura, como no caso das áreas irrigadas para o cultivo de hortaliças, por exemplo.

As diferentes formas de ocupação da área deram início a reflexões sobre a contribuição das diferentes categorias estabelecidas, a intensidade das atividades praticadas na bacia, a atenção atribuída à diminuição de áreas remanescentes que ainda resistem, a geração de patamares distintos, mas associados em diferentes escalas de análise seja ecológica, econômica, social ou mesmo cultural.

Ocorre ainda a necessidade de maiores diálogos e/ou discussões que tragam ciência à população residente na área da bacia, sobretudo no que diz respeito a temática ambiental, principalmente aquelas que se relacionem com o equilíbrio, o desenvolvimento sustentável e a

resiliência dos recursos contidos em áreas de preservação florestal e hídrica, em práticas sustentáveis quanto ao uso do solo, dentre outras ações.

Por fim, o trabalho buscou demonstrar que a utilização de metodologia específica aliada à aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, evidenciam possibilidades de ações dinâmicas e efetivas para o cuidado com o meio ambiente, espacial e temporal, comum e de única existência.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2010. 158p.
- _____. Do Código Florestal para o Código da Biodiversidade. **Terrae didactica** v. 7 n. 2, 2011. p. 75-85.
- ALMEIDA, A. Q.; et al. Relação entre cobertura florestal e resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. **Anais...** Natal, 2009, p. 2057-2513. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.25.38/doc/2507-2513.pdf>> Acesso em: Maio 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação** Brasília: GGES, 2016. 93 p.
- ANDREOTI, C. E. **Avaliação da eficiência de um sistema agroflorestal na recuperação de um solo degradado por pastoreio**. 131f. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- ASSAD, E.D. et al. Changes in soil carbon stocks in Brasil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v.10, 2013. p. 6141-6160.
- BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiência**. Guarapuava: UNICENTRO v. 1, n.1. 2005. p.131-149. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/294/1892>> Acesso em: Maio, 2014.
- BANCO MUNDIAL. **Relatório Técnico: Emissões Associadas a Mudanças do Uso do solo**. 2010.
- BARBOSA, A. P. **Comparação de métodos de classificação de imagens, visando o gerenciamento de áreas citrícolas**. Botucatu, 2009. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BRAZ, E.M., et al.. Sustainable allowable cut for tropical forest management. **Ciencia Florestal**. v. 1, n. 22. 2012. p. 137-145.
- BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Efeitos da estratégia de amostragem na exatidão reportada pelo índice de kappa na classificação de imagens orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8. (SBSR), 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996.
- CAMARINHA, P. I. M. et al. O uso de ferramentas de SIG na avaliação econômico-ambiental da bacia do Ribeirão Guaratinguetá como subsídio a provisão de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR),

2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6558-6565. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4J2L>>. Acesso em: Jun. 2015.

CARNEIRO, C. M. R. Políticas y estrategias para el desarrollo forestal sostenible em América Latina y el Caribe-El Papel de la FAO. **Anais...** III Simpósio Latino americano sobre Ordenação Florestal. Universidade Federal de Santa Maria. 2004. Disponível em: <<http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/pdf/politicas.pdf>> Acesso em: Abr. 2015.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006.

CARVALHO, J. L. N.; et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v. 34, n.2, 2010. p. 277-290.

CASTRO, D. S. A instituição da Reserva Legal no Código Florestal Brasileiro: fundamentos histórico-conceituais. **Revista do Departamento de Geografia**. Univesidade de São Paulo, v. 26, 2013. p. 132-154.

CAVALLET, L. E; PAULA, E. V. de. Estimativa de sequestro de carbono da biomassa aérea como indicador de sustentabilidade em decorrência da adequação da área de preservação permanente na sub-bacia do Rio Pequeno, Antonina, PR. In: II Seminário sobre Sustentabilidade, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UNIFAE, 2008. v. 1. p. 1-13.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

CORTEZ, A. T. C. O Lugar do homem na natureza. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.l.], v. 22, p. 29-44, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47218>>. Acesso em: jan. 2016.

COUTO, E. **As modernizações e racionalidades na agricultura e o uso do território**: temporalidades e espacialidades no município de Ibiúna (SP). São Paulo, 2007. 165f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

CRIADO, R. C. **Análise do uso da terra nas áreas de preservação permanente dos corpos d'água da bacia do córrego espraído como subsídio para pagamentos por serviços ambientais**. Presidente Prudente, 2012. 118f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

DEMARCHI, J. C. et al. Métodos de classificação de imagens orbitais para o mapeamento do uso do solo: estudo de caso na Sub-Bacia do Córrego das Três Barras. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 2644-2351. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.12.13.25/doc/p0678.pdf>> Acesso em: Fev. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Brasília, DF: Embrapa/Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

_____. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. ESRI. **ArcGIS / ArcMap**. Professional GIS for the desktop, release 10.1. Redlands, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO. **Global Forest Resources Assessment: Country Report Brazil**. Rome, 2014. 148 p. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-az172e.pdf>> Acesso em: Jul. 2016.

FAXINA, R. R. C, et al. Urbanização e alterações morfométricas e hidrológicas na bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, Jaú, São Paulo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.3, n.2, 2012. p.57-72.

FERRETTI, A. R.; BRITZ, R. M. Ecological restoration, carbon sequestration and biodiversity conservation: The experience of the Society for Wildlife Research and Environmental Education (SPVS) in the Atlantic Rain Forest of Southern Brazil. **Journal of Nature Conservation**. v.14, n.3-4, 2006. p. 249–259.

FIGUEIREDO, L. T. M. et al. Dinâmica do estoque de carbono em fuste de arvores de uma floresta estacional semidecidual. **Revista Cerne**, Lavras: v. 21, n. 1. 2015. p. 161-167. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cerne/v21n1/2317-6342-cerne-21-01-00161.pdf>> Acesso em jan. 2016.

FIORENTIN, L. D, et al. Quantificação e modelagem da biomassa e carbono da regeneração natural em área de floresta ombrófila mista. **Revista Brasileira Biomass**. São Paulo, v.33, n.2, 2015. p.251-267.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FRASSON, A. Situação dos recursos naturais em Santa Catarina. In: _____. **Manejo Alternativo de Recursos Hídricos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1993. p. 87-98.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Perfil municipal**. Ibiúna: Economia, 2012. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php>>. Acesso em: Abr. 2014.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS ESPACIAIS. FUNCATE. **Emissões do setor de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas**: relatório de referência. 1º Inventário de Emissões Antrópicas de GEE Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo. São Paulo, 2012. Disponível em: < http://inventariogeesp.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/30/2014/04/uso_solo_web.pdf> Acesso em: mar. 2014.

GASPAR, R. O. Análise fitossociológica e do estoque de carbono no estrato arbóreo de um fragmento de floresta estacional semidecidual. **Ciência Florestal**. Santa Maria: v. 24, n. 2, 2014. p. 313-324. Disponível em: < http://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/14569/pdf_1> Acesso em: jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Cidades@**: Ibiúna. Dados do Censo Demográfico, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: Jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Cidades@**: Ibiúna. Dados do Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: Abr. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981a. Escala: 1:500.000.

_____. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981b. Escala: 1:100.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. IGC. **Carta topográfica**. Serviço Gráfico do IGC, 1979. Escala 1:10.000.

INTERGOVERNAMENTAL PAINEL CLIMATE CHANGE. IPCC. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Hayama: IGES, 2003. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf> Acesso em: Maio, 2014.

_____. **Working Group III Report: Mitigation on Climate Change**. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm#1>. Acesso em: Maio 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

KERBER, M. **Análise das trajetórias de transição de produtores de base ecológica de Ibiúna/SP**: identificação e caracterização de indicadores sociais de sustentabilidade. Araras, 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de São Carlos Campus Araras.

LEITE, E. F. Panorama das condições ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Areias, Tocantins. **Revista Interface**. NEMAD/UFT, ed. 7, 2014. p. 117-126.

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 939-946. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.01.10>>. Acesso em: Maio, 2016.

LIMA, W. P. **Introdução ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: DCFL/ESALQ, 2006.

LIU W.T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP; 2007.

LORCA NETO, R. O. **Análise ambiental da Bacia do Ribeirão Fazenda Velha, Ibiúna-SP: subsídios para o planejamento ambiental e conservação dos recursos hídricos.** Sorocaba, 2013. 120f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade na Gestão Ambiental), Universidade Federal de São Carlos Campus Sorocaba.

MARQUES, M.C.V., BARBOSA, L.M. **Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo.** Apresentação. FAPESP / IBT / GEF: Marília, 2006.

MARTINHO, P. R. R. **Método de extração de informações para monitoramento da ocupação das terras por grandes obras de infraestrutura a partir de imagens de satélite de alta resolução.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 21 p.

MARTINS, O. S. **Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP.** São Carlos, 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas e da Saúde) Setor de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos.

MEDEIROS, L. D. S. et al. SIG aplicado a modelagem numérica de parâmetros limnológicos em salinas solares. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7238-7245. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4JR5>>. Acesso em: Jul. 2015.

MIRANDA, M. J. et al. **Clima dos municípios paulistas.** CEPAGRI/UNICAMP, 2005. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipiospaulistas.html>>. Acesso em Abr. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. MMA. **Florestas.** Brasília: GGES, 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas>> Acesso em: Jun, 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação.** 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 422 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363 p.

OLIVEIRA, J. S. et al. Estimativas de perda de solos em ambiente sig utilizando diferentes fontes de dados topográficos. In: . Revista da ANPEGE, Fortaleza, v. 7, n. 1, 16. (SBSR). 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6719-6726. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GKPR>>. Acesso em: Jul. 2015.

PASSO, D. P. **Análise da qualidade de classificadores para identificação de alvos urbanos em imagens de alta resolução espacial: uma aplicação com as imagens do satélite Worldview II.** 2013. 106f. Dissertação. (Área de concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental). Insitituto de Geociências. Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2013.

PEREIRA, V. C. O Novo Código Florestal Brasileiro: dilemas da consciência ecológica em torno da proteção ambiental. **Ambiente e Educação.** v. 18, n. 1. 2013. Disponível em: <<http://www.seer.furg.br/ambeduc/article/view/3014/2409>> Acesso em: Setembro 2015.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Pardo**. 2013. 122p. Tese (Livre docência). Campus Experimental de Ourinhos, Universidade Estadual Paulista, 2013.

PESSOA, S. P. M. et al. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na interbacia do Rio Paraguai Médio-MT, Brasil. **Revista Árvore**. Viçosa: v. 37, n. 1, 2013. p.119-128.

PINHEIRO, H. et al. Alterações na paisagem e sequestro de carbono na freguesia de Deilão, nordeste de Portugal. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 38, n. 1, 2014. p. 41-52.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira-PA. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p.403-410, 2002.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Revista de Estudos Avançados** São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. p. 43-60.

PRINA, B. Z. et al. **AVACIM**: Avaliador de classificação de imagens. UFSM, Departamento de Geociências, 2014.

QUARTAROLI, C. F. **Classificação Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto: Tutorial Básico**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. 50 p.

RANDERSON, J. Climate science: Global warming and tropical carbon. **Nature**. n. 494, 2013. p. 319–320.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 262p.

_____. Análise espacial em Geografia. **Revista da ANPEGE**, Fortaleza, v. 7, n. 1, número especial, 2011. p. 275-289. Disponível em: <<http://anpege.org.br/revista/ojs-2.2.2/index.php/anpege08/article/viewFile/163/RAE23>>. Acesso em: Jun. 2015.

ROVANI, F. F. M. et al. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.l.], v. 29, p. 262-278, 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/102085>>. Acesso em: jan. 2016.

RUFO, R. L. T.; CRISTO, S. S. V. Sensoriamento remoto aplicado na análise do uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Titira, Porto nacional, Tocantins. **Revista Interface**. NEMAD/UFT, ed. 7, 2014. p. 47-60.

RUIZ, L. F. C. et al. Árvore de decisão e a densidade mínima de amostras no mapeamento da cobertura da terra. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.6, 2014. p.1001-1007.

SALES, J, C, A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do Rio Una, Ibiuna/SP**. Sorocaba. 2015. 112f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Ambientais) Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista, 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. SMA. **Sistema ambiental paulista**: Área de Proteção Ambiental Itupararanga, 2012. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/apa-itupararanga/sobre-a-apa/>>. Acesso em: ago. 2014.

SILVA, A. M.; SILVA, J. S. V. Caracterização da vegetação e uso da terra da bacia Quitéria em 2007. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7109-7116. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GLQS>>. Acesso em: Jul. 2015.

SILVA, R. M. P. et al. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol. 18. n. 2, 2014. p. 202-209.

SILVA, A. R. et al. Uso de SIG na análise do processo de ocupação das margens em reservatórios urbanos o semiárido: estudo em Caicó/RN. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7231-7237. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4JQR>>. Acesso em: Jul. 2015.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. M. Análises espectrais da vegetação com dados Hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO₂ em diferentes ambientes na Amazônia Brasileira. **Boletim Ciências Geodésicas**, Curitiba: v. 21, n. 2. 2015. p. 354-370.

SMITH, W. S. A bacia do rio Sorocaba: caracterização e principais impactos. **Revista Científica do IMAPES**, v. 3, n. 3. Sorocaba, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. SBPC; ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. ABC. **O Código Florestal e a Ciência**: Contribuições para o Diálogo. 2. ed. rev. São Paulo, 2012.

SPAROVEK, G. et al . A revisão do Código Florestal brasileiro. **Novos estudos**. CEBRAP, São Paulo, n. 89, p. 111-135, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010133002011000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: Setembro 2015.

TAFFAREL, M. Efeito da silvicultura pós-colheita na população de *Chrysophyllum lucentifolium* Cronquist (Goiabão) em uma floresta de terra firme na Amazônia Brasileira. **Revista Árvore**. Viçosa: v.38, n.6, 2014. p.1045-1054.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 2007. 943 p.

ZAKIA, M. J; PINTO, L. F. G. **Guia para aplicação da nova lei em propriedades rurais**. Piracicaba: Imaflora, 2013. 32p.

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil**: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. 2004. 279p. Tese. (Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.