MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/10.04.18.46-TDI

ISAM - UM SISTEMA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MANANCIAIS DO RIO PARAÍBA DO SUL

Sacha Maruã Ortiz Siani

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Silvana Amaral Kampel, e Antonio Miguel Vieira Monteiro, aprovada em 26 de agosto de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MHKPD8>

INPE
São José dos Campos
2016

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GB)
Serviço de Informação e Documentação (SID)
Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/6921
Fax: (012) 3208-6919
E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):
Presidente:
Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Membros:
Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)
Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)
Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)
Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)
Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)
Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)
BIBLIOTECA DIGITAL:
Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)
REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)
Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)
EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:
Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)
André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/10.04.18.46-TDI

ISAM - UM SISTEMA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MANANCIAIS DO RIO PARAÍBA DO SUL

Sacha Maruã Ortiz Siani

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Silvana Amaral Kampel, e Antonio Miguel Vieira Monteiro, aprovada em 26 de agosto de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MHKPD8>

INPE
São José dos Campos
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Siani, Sacha Maruã Ortiz.

Si11i ISAM - Um sistema de indicadores para o monitoramento da área de proteção ambiental mananciais do rio Paraíba do Sul / Sacha Maruã Ortiz Siani. – São José dos Campos : INPE, 2016.

xxii + 169 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/10.04.18.46-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Silvana Amaral Kampel, e Antonio Miguel Vieira Monteiro.

1. Unidade de conservação. 2. Uso da terra. 3. Cobertura da terra. 4. Sistema de indicadores. 5. Monitoramento. I.Título.

CDU 502.13:332.3(815.6)

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): ***Sacha Maruã Ortiz Siani***

Título: **" iSAM - UM SISTEMA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MANANCIAIS DO RIO PARAÍBA DO SUL".**

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de *Mestre* em

Sensoriamento Remoto

Dra. Silvana Amaral Kampel

Presidente / Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Camilo Daleles Rennó

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dra. Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Ricardo de Sousa Moretti

Convidado(a) / UFABC / Santo André - SP

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(X) unanimidade

São José dos Campos, 26 de Agosto de 2016

"Se faltar aqui na terra tem tragédia,
Catastrófica será se vem de sobra,
E a nossa ignorância será mágoa,
Mas a nossa inteligência será trégua,
Quando sólidos e sós seremos água".

Xangai e Jatobá, "Água"

A minha amada família:

Patrícia, Marcello, Caiuá e Bruna.

AGRADECIMENTOS

Meu mais humilde e sincero obrigado:

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de participar do programa mestrado em Sensoriamento Remoto, e por me proporcionar o ambiente e infraestrutura para desenvolver este trabalho. Também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte financeiro.

Aos meus curadores, Drs. Silvana Amaral (Sil) e Antônio Miguel V. Monteiro (Miguel), pela oportunidade de participar do seu grupo de alunos, pelo conhecimento colocado a minha disposição, e por me orientarem nos caminhos sinuosos de uma dissertação de mestrado. Mas principalmente, por todo o cuidado, paciência e amizade.

Aos professores, pesquisadores e servidores do SERE/INPE, e companheiros de senzalas, pela boa convivência, amizade, apoio técnico e conhecimentos compartilhados.

A todos aqueles que, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, contribuíram com valiosas críticas e sugestões. Em particular aos membros do grupo de estudos GeoCxNets, e aos Drs. Evlyn Novo e Camilo Rennó pelas sugestões na banca da proposta.

Aos especialistas em sensoriamento remoto que me ajudaram com a elaboração da referência para validação: Rennan Marujo, José Guilherme Fronza, Silvana Amaral e David França.

À Letícia Brandão e ao Fernando Siqueira do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, pelas informações compartilhadas, e pela atenção oferecida.

A minha família, por tudo. Carinho, incentivo, apoio...

A minha namorada, Bruna, pelo amor, compreensão, e por abdicar junto comigo de tantas coisas para que eu pudesse me formar Mestre.

Aos meus amigos. Àqueles que de longe compreenderam minha ausência e me incentivaram. E aos amigos recentes que o SERE/INPE me presenteou, especialmente os queridos Aline, Aninha, David, Johnny e Rodolfo, que estiveram nessa caminhada junto comigo e ajudaram a tornar minha vida e meu trabalho mais felizes.

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental Mananciais do Rio Paraíba do Sul (APA-MRPS) é um importante instrumento de planejamento territorial ambiental que tem como objetivo proteger os mananciais que abastecem mais de 15 milhões de pessoas dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Este espaço protegido inclui áreas rurais e urbanas, com diferentes contextos socioeconômicos e níveis de conservação. O objetivo deste trabalho foi construir um sistema de indicadores espacialmente explícito, que auxiliasse o diagnóstico socioeconômico e ambiental da APA-MRPS, de modo a fornecer ferramentas para monitorar e avaliar esta unidade de conservação. O sistema, intitulado **iSAM** – *Indicadores Socioambientais de Monitoramento da APA-MRPS*, consiste em um conjunto de indicadores, construídos a partir de dados de sensoriamento remoto e dados censitários, que pretende identificar e localizar no espaço as condições de proteção dos mananciais, a partir de suas relações com o uso e cobertura da terra, e os diferenciais sociodemográficos da população residente na APA-MRPS. Esta dissertação propõe para o **iSAM**, um conjunto de representações espacialmente explícitas, que se constituem como uma cartografia integrada para o monitoramento e o planejamento territorial da unidade de conservação. Para a construção do **iSAM**, cinco etapas foram definidas: *a*) definir um modelo conceitual com três dimensões – Ecológica, Social e Econômica – baseado nos objetivos da unidade de conservação; *b*) construir indicadores da dimensão Ecológica, cujas estatísticas foram obtidas a partir do mapeamento histórico do uso e cobertura da terra, utilizando imagens de sensoriamento remoto da série Landsat de 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015, bem como a determinação de suas importâncias relativas, considerando suas relações com as necessidades de proteção dos mananciais; *c*) produzir os indicadores das dimensões Social e Econômica, cujas estatísticas foram obtidas a partir dos Censos Demográficos de 2000 e 2010, e que envolveu a compatibilização espacial das malhas censitárias, o tratamento da instabilidade dos indicadores em pequenas áreas, e a redistribuição dos dados censitários; *d*) definir procedimentos de integração de dados populacionais e territoriais de bases de dados heterogêneas através de um espaço celular; e, por fim, *e*) calcular e representar cartograficamente os indicadores compostos. Com base na análise do **iSAM**, os principais resultados apontam que: *i*) no momento de criação da APA-MRPS, sua cobertura florestal natural - característica do bioma Mata Atlântica - havia sido removida, e as manchas urbanas e atividades mineradoras estavam instaladas. Desde então, parte das extensas áreas desmatadas foram subutilizadas, e vem se regenerando, dando lugar a novas florestas em estágio inicial e médio de regeneração. Entretanto, a criação da APA não impediu a expansão das áreas urbanas, atividades mineradoras e áreas de silvicultura; *ii*) o diagnóstico socioambiental produzido para cada uma das 15 unidades da APA-MRPS, permitiu uma leitura revelando a heterogeneidade espacial dos componentes do **iSAM** e afirmar a importância de acomodar estes diferenciais socioterritoriais no planejamento ambiental; *iii*) entre as unidades da APA-MRPS, as que melhor protegem os mananciais são Guaratinguetá 2, Cruzeiro, Lavrinhas,

Queluz, Piquete e Bananal, respectivamente. Estas unidades situam-se nas encostas das serras da Mantiqueira e da Bocaina, onde a topografia restringe a maioria dos usos da terra. *iv*) unidade do Putim se destaca por apresentar, em ambas as datas analisadas, as melhores condições sociais e econômicas, mas também as piores condições da paisagem para a proteção dos recursos hídricos. As unidades de Monteiro Lobato e Guaratinguetá 1 também apresentam melhores condições sociais e econômicas do que as outras. O **iSAM** possibilitou a elaboração do diagnóstico socioambiental da APA-MRPS, levando em conta suas especificidades, e permitindo distinguir os diferentes contextos sociais, econômicos e ecológicos de suas unidades. O seu uso é indicado para apoiar o planejamento, o manejo, a gestão e o monitoramento sistemático da APA-MRPS. O arcabouço conceitual criado neste trabalho para lidar com a APA-MRPS, com adaptações, pode ser utilizado para a construção de outros sistemas de indicadores no contexto do monitoramento e planejamento territorial de outras áreas protegidas.

Palavras-chave: Unidade de Conservação. Uso da terra. Cobertura da terra. Sistema de indicadores. Monitoramento. Diagnóstico socioambiental.

ISAM – AN INDICATORS SYSTEM FOR MONITORING THE MANANCIAIS DO RIO PARAÍBA DO SUL PROTECTED AREA

ABSTRACT

The *Mananciais do Rio Paraíba do Sul* Protected Area with Sustainable Use (APA-MRPS) is an important environmental-territorial planning instrument that aims to protect the water sources that supply more than 15 million people in the states of São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro. This protected area includes rural and urban areas, with different socioeconomic contexts and conservation levels. This study aims to develop a spatially explicit indicator system, which would assist a socioeconomic and environmental diagnostic to APA-MRPS, in order to provide tools to monitor and assess this protected area. The system, called **iSAM** – *Socio-environmental Indicators for Monitoring APA-MRPS*, consists of a set of indicators, built from remote sensing and census data, which aims to identify and locate in space the conditions for water sources protection, based on their relations with the land use and land cover, and socio-demographic differences within the resident population. For **iSAM**, this dissertation proposes a set of spatially explicit representations, which are an integrated cartography for monitoring and territorial planning of the protected area. Five stages were defined for developing **iSAM**: *a*) define a conceptual framework with three dimensions - Ecological, Social and Economic - based on the objectives of the protected area; *b*) develop indicators for Ecological dimension, whose statistics were obtained from the mapping of historical land use and land cover using Landsat remote sensing images for 1985, 1991, 2000, 2010 and 2015, and determination of their relative importance, considering their relationship with the protection of water sources; *c*) develop indicators for Social and Economic dimensions, whose statistics were obtained from the 2000 and 2010 Demographic Census, and included the spatial compatibility of census tracts, treatment of indicators instability in small areas, and the redistribution of census data; *d*) define population and territorial data integration procedures for heterogeneous databases using a cellular space; *e*) calculate and represent the composite indicators. Based on the analysis of **iSAM**, the main results showed that: *i*) when APA-MRPS was created, its natural forest cover - characteristic of the Atlantic Forest - had been removed, urbanization and mining activities were installed. Since then, part of the extensive deforested areas were underutilized, and are regenerating, being replaced by new forests in early and middle stages of regeneration. However, the creation of the APA was not effective in preventing expanding urban areas, mining activities and planted forests; *ii*) the socio-environmental diagnostic revealed the spatial heterogeneity of the **iSAM** components and affirmed the importance of socio-territorial differences in environmental planning; *iii*) among the units of APA-MRPS, those which best protect water sources are Guaratinguetá 2, Cruzeiro, Lavrinhas, Queluz, Piquete and Bananal, respectively. These units are located on the slopes of Mantiqueira and Bocaina mountains, where the topography restricts most land uses; *iv*) Putim unit stands out to have, in analyzed dates, the best social and economic conditions, but also the worst ecological conditions for water resources protection. Similarly, the units of Monteiro Lobato and Guaratinguetá 1 also have better social

and economic conditions than others. The **iSAM** enabled the preparation of a socio-environmental diagnostic of APA-MRPS, considering its specificities, and allowing distinction between different social, economic and ecological contexts in its units. It will be useful to support planning, management, and systematic monitoring of the APA-MRPS. Also, the conceptual framework created to deal with the APA-MRPS, with adjustments, can be used to build other indicators systems in the monitoring and territorial planning of other protected areas.

Keywords: Protected Areas. Land use. Land cover. Indicator system. Monitoring. Socio-environmental diagnostic.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

2.1 Construção de um sistema de indicadores. 8

3.1 Área de estudo: unidades paulistas da APA-MRPS. 22
3.2 Etapas metodológicas do trabalho. 26
3.3 Modelo conceitual tridimensional – Ecológica, Social e Econômica – do iSAM. 29
3.4 Rede semântica entre as classes e os níveis de segmentação e classificação. 34
3.5 Análise de correlação entre os indicadores simples. 59
3.6 Gráficos de dispersão dos indicadores socioambientais e suas respectivas populações em risco. 60
3.7 Esquema da integração dos dados no espaço celular. 64

4.1 Figura conceitual e legenda para interpretação dos mapas em composição RGB. 68
4.2 Proporção entre as classes de uso e cobertura da terra na APA-MRPS para os anos 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015. 70
4.3 Painel de indicadores da unidade Paraibuna. 74
4.4 Imagens da unidade Paraibuna. 75
4.5 Painel de indicadores da unidade Jaguari. 78
4.6 Imagens da unidade Jaguari. 79
4.7 Painel de indicadores da unidade Putim. 83
4.8 Imagens da unidade Putim. 84
4.9 Painel de indicadores da unidade Monteiro Lobato. 86
4.10 Imagens da unidade Monteiro Lobato. 88
4.11 Painel de indicadores da unidade Una. 90
4.12 Atividades de extração e beneficiamento de minérios na unidade Una. . . 91
4.13 Ocupações humanas na unidade Una. 92
4.14 Painel de indicadores da unidade Guaratinguetá 1. 94
4.15 Fotografias da unidade Guaratinguetá 1. 95
4.16 Painel de indicadores da unidade Guaratinguetá 2. 97
4.17 Painel de indicadores da unidade Piquete. 98
4.18 Painel de indicadores da unidade Cruzeiro. 99
4.19 Painel de indicadores da unidade Lavrinhas. 100
4.20 Painel de indicadores da unidade Queluz. 101
4.21 Imagens das unidades localizadas na encosta da mantiqueira. 103
4.22 Painel de indicadores da unidade Cachoeira Paulista. 106

4.23 Imagens da unidade Cachoeira Paulista. 107
4.24 Painel de indicadores da unidade Areias. 109
4.25 Fotografias da unidade Areias. 110
4.26 Painel de indicadores da unidade Bananal. 113
4.27 Painel de indicadores da unidade São José do Barreiro. 114
4.28 Imagens da unidade Bananal. 115

B.1 Representação conceitual gráfica do índice de Gini. 149

C.1 Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 1985. . . . 162
C.2 Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 1991. . . . 163
C.3 Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 2000. . . . 164
C.4 Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 2010. . . . 165
C.5 Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 2015. . . . 166

D.1 Mapa das dimensões do iSAM em composição RGB para o ano 2000. . . 168
D.2 Mapa das dimensões do iSAM em composição RGB para o ano 2010. . . 169

LISTA DE TABELAS

Pág.

2.1 Sumário de dados de sensoriamento remoto aplicáveis ao monitoramento de áreas protegidas. 16

3.1 Unidades da APA-MRPS e os municípios aos quais pertencem. 24
3.2 Imagens de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho. 30
3.3 Tipologia das classes de uso e cobertura da terra utilizadas no mapeamento da APA-MRPS. 32
3.4 Índices por diferença normalizada utilizados como correção topográfica . 33
3.5 Parâmetros da segmentação multirresolução utilizados em cada nível. . . 35
3.6 Descrição dos atributos utilizados na classificação. 37
3.7 Regras de decisão utilizadas para descrever cada classe de interesse. . . . 38
3.8 Detalhamento do processo de classificação nos quatro níveis hierárquicos. 40
3.9 Matriz de confusão do ano de 1985. 41
3.10 Matriz de confusão do ano de 1991. 41
3.11 Matriz de confusão do ano de 2000 42
3.12 Matriz de confusão do ano de 2010 42
3.13 Matriz de confusão do ano de 2015 43
3.14 Indicadores representantes da Dimensão Ecológica do iSAM. 45
3.15 Relatório do Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicado às classes de uso e cobertura da terra. 50
3.16 Indicadores representantes da Dimensão Social do iSAM. 53
3.17 Indicadores representantes da Dimensão Econômica do iSAM. 56

4.1 Valores percentuais e absolutos de uso e cobertura da terra na APA-MRPS para os anos 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015. 69
4.2 Comparação entre os indicadores compostos das unidades da APA-MRPS. 72

A.1 Categorias de manejo previstas no SNUC. 139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	–	Área Protegida
APA	–	Área de Proteção Ambiental
AHP	–	Processo Analítico Hierárquico
APA-MRPS	–	Área de Proteção Ambiental Mananciais do Rio Paraíba do Sul
BHPS	–	Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CEEIVAP	–	Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CNEFE	–	Cadastro Nacional de Endereços Para Fins Estatísticos
GEOBIA	–	Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	–	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
iSAM	–	Indicadores Socioambientais de Monitoramento da APA-MRPS
IUCN	–	União Internacional para a Conservação da Natureza
MDE	–	Modelo Digital de Elevação
NDVI	–	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR	–	Infravermelho Próximo
OLI	–	Operational Land Imager
RPS	–	Rio Paraíba do Sul
GIS	–	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	–	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRTM	–	Shuttle Radar Topography Mission
SWIR	–	Infravermelho de Ondas Curtas
TM	–	Thematic Mapper
UHE	–	Usina Hidroelétrica
UC	–	Unidade de Conservação

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Objetivos 3
1.1.1 Geral 3
1.1.2 Específicos 3
1.2 Organização do trabalho 4

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 5
2.1 Unidades de Conservação da Natureza (UC) 5
2.1.1 A categoria de manejo Área de Proteção Ambiental (APA) 6
2.2 Monitoramento e sistemas de indicadores em UCs 7
2.3 A questão da ocupação humana em unidades de conservação 10
2.4 O sensoriamento remoto no apoio à gestão de UCs 13
2.5 Relações entre o uso e cobertura da terra e a proteção dos mananciais . . 15

3 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES 21
3.1 Área de estudo 21
3.1.1 O contexto histórico ambiental de criação da APA-MRPS 23
3.2 Metodologia para construção do iSAM 25
3.2.1 Modelo conceitual multidimensional 27
3.2.2 Dimensão Ecológica 29
3.2.2.1 Mapeamento histórico do uso e cobertura da terra 29
3.2.2.1.1 - Dados de sensoriamento remoto 30
3.2.2.1.2 - Definição e caracterização das classes 31
3.2.2.1.3 - Pré-processamento 31
3.2.2.1.4 - Classificação das imagens 33
3.2.2.1.5 - Validação 39
3.2.2.2 Indicadores da Dimensão Ecológica 44
3.2.3 Dimensões social e econômica 50
3.2.3.1 Dados populacionais 50
3.2.3.1.1 - Compatibilização da malha censitária de 2000 e 2010 51
3.2.3.2 Indicadores das dimensões Social e Econômica 52
3.2.3.2.1 - Instabilidade em pequenas áreas e estimação dos indicadores . . . 58
3.2.3.2.2 - Redistribuição de dados populacionais 61

3.2.3.2.2.1 - Geocodificação do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos . . . 62
3.2.4 Integração de dados: construção da base celular . . . 63
3.2.5 Cálculo e representação dos indicadores compostos das dimensões do iSAM . . . 65

4 DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL . . . 67
4.1 APA-Mananciais do Rio Paraíba do Sul . . . 68
4.2 Paraibuna . . . 72
4.3 Jaguari . . . 77
4.4 Putim . . . 82
4.5 Monteiro Lobato . . . 85
4.6 Una . . . 89
4.7 Guaratinguetá 1 . . . 93
4.8 Guaratinguetá 2, Piquete, Cruzeiro, Lavrinhas e Queluz . . . 96
4.9 Cachoeira Paulista . . . 105
4.10 Areias . . . 108
4.11 São José do Barreiro e Bananal . . . 111

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . 117

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . 121

APÊNDICE A - CATEGORIAS DE MANEJO PREVISTAS NO SNUC . . . 139

APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DOS INDICADORES . . . 141

APÊNDICE C - MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA . . . 161

APÊNDICE D - MAPAS RGB DOS INDICADORES SINTÉTICOS DE 2000 E 2010 . . . 167

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de qualquer sociedade. A quantidade e qualidade deste recurso essencial à vida humana e ao funcionamento dos ecossistemas merece a atenção dos governos responsáveis. Apesar da elevada disponibilidade natural de água na região sudeste do Brasil, são as formas de ocupação do território que geram os conflitos observados na disputa pelos usos. Os conflitos estão relacionados com os diversos atores sociais e econômicos, cujos interesses e demandas específicas estabelecem a desigualdade de acesso ao recurso e, portanto, as bases para os conflitos (BRAGA et al., 2008; CARMO, 2001; WWAP, 2015).

Recentemente, o sudeste brasileiro experimentou uma das piores crises hídricas de sua história. A seca teve início no período chuvoso de 2014 (dezembro a fevereiro), quando o estado de São Paulo recebeu cerca de um terço do montante usual de chuva. Desde então, as chuvas têm ocorrido a cerca de 60% abaixo do normal (COELHO et al., 2016). Com a escassez, não apenas a produção agrícola e industrial na região enfrentou dificuldades, mas, principalmente a população tem sofrido com as políticas de acesso ao recurso em tempos de escassez hídrica.

Diante desta situação, a proteção dos mananciais de abastecimento da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHPS) é um tema de relevância local e regional, considerando que esta bacia é responsável pelo o abastecimento de cerca de 15 milhões de pessoas nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (AGEVAP, 2014). Entre as estratégias para mitigar processos de degradação dos recursos hídricos da região, está a Área de Proteção Ambiental (APA) dos Mananciais do Rio Paraíba do Sul (APA-MRPS), que é objeto deste estudo.

A APA é uma categoria de manejo pertencente ao grupo de unidades de conservação (UC) de uso sustentável. As APAs são espaços de planejamento territorial e ambiental que possuem ecossistemas de importância regional, englobando um ou mais atributos ambientais, podendo compreender áreas urbanas e rurais e suas inerentes atividades econômicas. Nas APAs, é permitido o desenvolvimento de atividades econômicas de forma planejada por meio de um Plano de Manejo que inclui o Zoneamento do território, as diretrizes e normas para o uso e cobertura da terra e os Programas de ação a serem implementados a curto, médio e longo prazo (BRASIL, 2000).

Além dos objetivos de proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de

ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais, inerentes aos objetivos de uma APA, a APA-MRPS foi criada em 1982 com o intuito de proteger os mananciais de abastecimento da BHPS (BRASIL, 1982). Sua configuração espacial de unidades disjuntas abrange três unidades da federação (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais) e corresponde a um total de 292.597 hectares, geridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Desde sua criação, o manejo e a gestão dessa UC não foram plenamente implementados conforme determina o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Por consequência, atualmente a APA-MRPS encontra-se altamente antropizada, contendo diferentes formas de ocupação sócio-espaciais.

Apenas a criação de áreas protegidas (APs) não é suficiente para que este instrumento cumpra seus objetivos. Para sua efetividade, é fundamental estabelecer um plano de manejo, no qual são definidos objetivos e metas claras, e programas de ações, bem como gerar informações qualificadas, a partir do monitoramento e de avaliações periódicas e sistemáticas, observando em que medida seus objetivos estão sendo cumpridos e a quais custos, de modo a promover o manejo adaptativo (BENSUSAN, 2006). A produção de informações a partir de dados e técnicas de sensoriamento remoto (SR) constitui uma ferramenta de grande potencial para apoiar o monitoramento de APs. Conhecimentos de natureza espacial sobre os tipos de pressões e locais onde estas ocorrem em APs são necessários para a gestão e tomadas de decisões. As imagens de SR orbital (de sensores passivos ou ativos) estão disponíveis em diferentes resoluções espectral, espacial, e radiométrica, e podem fornecer informações valiosas relacionadas ao uso e cobertura da terra (NAGENDRA et al., 2014). Informações oriundas de SR, especialmente orbital, fornecem medidas consistentes das condições da paisagem e permitem a detecção de mudanças abruptas ou lentas sobre o território (KENNEDY et al., 2009). A detecção e caracterização de mudanças nos recursos permitem assim que os gestores monitorem grandes áreas, incluindo áreas de difícil acesso, reduzindo as custosas medições *in situ*. Outra vantagem é permitir a análise da evolução do processo histórico. Atualmente, as técnicas de SR têm sido amplamente usadas para mapear mudanças na cobertura florestal dentro e fora de APs (OSTROM; NAGENDRA, 2006; NAGLER et al., 2009; WIENS et al., 2009; FRASER et al., 2009; LEVERINGTON et al., 2010; GROSS et al., 2013; NAGENDRA et al., 2013; NAGENDRA et al., 2014; BOYLE et al., 2014).

Os objetivos para a definição e gestão de APs são relacionados à conservação da biodiversidade e/ou dos recursos naturais, independentemente das condições de vida da população que eventualmente reside neste espaço protegido. Entretanto, entender as

relações entre a criação de áreas protegidas e as condições de vida das populações tornou-se uma necessidade prática e ética (SCHERL et al., 2004). Necessidade prática, para que tenham sucesso, pois as áreas protegidas devem ser vistas como uma opção de uso da terra que contribua positivamente para um modelo de desenvolvimento econômico socialmente justo e ambientalmente responsável tanto quanto outros tipos de usos. Além disso, quando a população participa das decisões quanto às regras de uso da terra, maiores são as chances de cumprimento das regras e de apoio ao monitoramento da AP (OSTROM; NAGENDRA, 2006). E necessidade ética, porque para atingir a justiça social, deve-se incorporar os direitos e aspirações humanas às estratégias de conservação (SCHERL et al., 2004). Neste contexto, é interessante que ferramentas de monitoramento e avaliação de APs considerem indicadores socioeconômicos. Assim, somente abordagens multidisciplinares e em múltiplas escalas podem fornecer uma boa compreensão sobre como a população reage às regras institucionalizadas e afeta o ambiente, e/ou como a disponibilidade de recursos naturais e a biodiversidade afeta a população.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é construir um sistema de indicadores que auxilie o monitoramento e avaliação da efetividade das ações de manejo da APA-MRPS na conservação dos recursos hídricos, considerando as interações e consequências com e para a população residente. Esse sistema, intitulado **iSAM** - *Indicadores Socioambientais de Monitoramento da Área de Proteção Ambiental Mananciais do Rio Paraíba do Sul*, pretende identificar e localizar no espaço as condições de conservação de recursos e de vida da população que se inserem nesta AP.

1.1.2 Específicos

Para atingir o objetivo geral apresentado, este trabalho propõe um conjunto de cinco objetivos específicos:

a) Descrever o processo de ocupação, observado a partir da dinâmica de uso e cobertura da terra, para a APA-MRPS desde a sua criação. Para tanto, deve-se mapear e analisar o histórico de uso e cobertura da terra na APA-MRP, considerando o período de 1982 a 2015, utilizando imagens de média resolução espacial e técnicas de SR;

b) Definir, propor e operacionalizar um conjunto de indicadores espacialmente ex-

plícitos, baseados em dados censitários e de sensoriamento remoto, capazes de representar os objetivos da APA-MRPS, enquanto instrumento para proteção de seus mananciais, relacionados às dimensões Ecológica, Social e Econômica;

c) Definir uma cartografia para o **iSAM** de maneira a acomodar sua natureza espacial, multiescalar, e multidimensional para as unidades da APA-MRPS. Utilizar esta cartografia de mediação para apresentar os resultados das análises e diagnósticos de modo a facilitar a compreensão e contribuir para o monitoramento e gestão da APA.

d) Diagnosticar as interações entre a população residente e os elementos da paisagem na APA-MRPS. Para isso, deve-se criar representações espaciais para integração dos dados populacionais e ambientais, que se constitui em uma cartografia de mediação;

e) Aplicar o **iSAM** e suas representações, para identificar as situações adequadas e conflitantes com os objetivos da APA-MRPS para cada uma das unidades que a compõe, contribuindo para o seu diagnóstico.

1.2 Organização do trabalho

Esta dissertação está estruturada em 5 Capítulos. O Capítulo 1 corresponde a introdução e aos objetivos propostos, apresentados anteriormente. No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica deste trabalho, como os conceitos de unidades de conservação da natureza, e uma visão geral sobre o monitoramento de áreas protegidas, a questão da ocupação humana em AP e o SR no apoio à gestão de UCs e as relações entre o uso e cobertura da terra e a proteção dos recursos hídricos. O Capítulo 3 apresenta uma descrição da área de estudo, e posteriormente apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos utilizados para a construção do **iSAM**, que envolve a definição de um modelo conceitual, construção dos indicadores da dimensão Ecológica, cujas estatísticas foram obtidas a partir do mapeamento histórico do uso e cobertura da terra, produção dos indicadores das dimensões Social e Econômica, integração de bases de dados heterogêneas através de um espaço celular, e o cálculo e representação cartográfica dos indicadores compostos. No Capítulo 4, são apresentados os resultados e discussões do trabalho, incluindo o diagnóstico socioambiental da APA-MRPS, bem como das unidades que a compõe, baseado-se no **iSAM**e suas representações. E por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais, trazendo um panorama geral dos resultados alcançados e principais as conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Unidades de Conservação da Natureza (UC)

No último século, sobretudo nas últimas décadas, a preocupação com a conservação do meio ambiente tem ocupado papel central nas agendas científicas e políticas. A crescente demanda por recursos naturais e a redução da biodiversidade, em sua maioria por atividades decorrentes da ação humana, demandam que a sociedade repense seu relacionamento com o espaço que ocupa, sob a pena de comprometer os recursos necessários à manutenção da vida pelas gerações futuras.

Para mitigar a perda da biodiversidade e a degradação dos recursos naturais diversas estratégias vêm sendo adotadas, dentre as quais a criação e manutenção de áreas protegidas (AP) como instrumentos de planejamento territorial ambiental úteis para a efetiva implantação de políticas públicas de conservação ambiental. A criação de APs tem sido mundialmente adotada como instrumento para a manutenção da biodiversidade e uso sustentável dos recursos naturais (WATSON et al., 2014). A Lista de Áreas Protegidas das Nações Unidas de 2014 contém 209.429 APs cobrindo mais de 30 milhões de km^2, representando 3,41% da área marinha e 14% da área terrestre do mundo (DEGUIGNET et al., 2014).

Em resposta ao contexto social, econômico e político em que as APs se inserem, além dos objetivos que levam à sua criação, há diferentes categorias de manejo que reconhecem as diferentes configurações de gestão das APs. No livro *"Guidelines for applying protected area management categories"* (DUDLEY, 2008), a União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais (IUCN, *International Union for Conservation of Nature*)[1] propõe um guia de boas práticas para definição das categorias de manejo, classificando as áreas protegidas de acordo com seus objetivos e define termos associados à gestão de APs. A IUCN define AP como: *"Um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e manejado, por meios legais ou outros meios efetivos, para atingir a conservação a longo prazo da natureza com seus ecossistemas e valores culturais associados"* (DUDLEY, 2008)

No Brasil, as diretrizes da IUCN estão contempladas na Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC, que estabelece critérios para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação (UC). De acordo com Brasil (2000, Art.

[1] A IUCN é uma organização internacional dedicada à conservação da natureza e ao uso sustentável dos recursos naturais. A organização é formada por organizações governamentais e não governamentais, além de milhares de especialistas, e busca influenciar ações de governos, empresas e outros agentes interessados *stakeholders* fornecendo informações e boas práticas.

2º), uma unidade de conservação é definida como:

> Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.[2]

O SNUC agrupa as unidades de conservação em dois grupos, com objetivos específicos: *a*) Unidades de Proteção Integral, cujo objetivo básico é *"preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais"*; e *b*) Unidades de Uso Sustentável, que tem por objetivo *"compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais"*.

Esses grupos, por sua vez, dividem-se em 12 categorias em função dos objetivos de manejo, sendo 5 de proteção integral e 7 de uso sustentável (BRASIL, 2000). O Apêndice A apresenta as categorias de manejo de unidades de conservação previstas pelo SNUC e sua descrição.

2.1.1 A categoria de manejo Área de Proteção Ambiental (APA)

As APAs são unidades de conservação de uso sustentável, destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais existentes, visando melhorar a qualidade de vida da população local e a proteção dos ecossistemas. As APAs são espaços de planejamento e de gestão ambiental que possuem ecossistemas de importância regional, englobando um ou mais atributos ambientais, podendo compreender áreas urbanas e rurais e suas atividades socioeconômicas inerentes. Segundo a lei do SNUC:

> [...] é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais (BRASIL, 2000, Art. 15).

As APAs são instituídas pela União, estado ou município, sem que haja a necessidade de desapropriar áreas, uma vez que podem ser constituídas por terras públicas ou

[2]Nota-se que o termo unidade de conservação (UC) utilizado no Brasil equivale ao conceito mundialmente adotado de área protegida (AP).

privadas. Entretanto, o órgão gestor pode estabelecer normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada localizada em uma APA. As APAs devem dispor de um conselho presidido pelo órgão responsável pela sua administração e constituído por representantes de órgãos públicos, organizações da sociedade civil e da população residente, garantindo a participação das partes interessadas em sua gestão (BRASIL, 2000).

Bensusan (2006) considera que, apesar de APAs terem diretrizes teóricas que objetivam a conservação da biodiversidade, geralmente, não são eficientes devido ao baixo grau de implementação destas diretrizes.

2.2 Monitoramento e sistemas de indicadores em UCs

A gestão de APs deve ser um processo cíclico e contínuo, onde informações sobre as tendências proporcionam um retorno (*feedback*) aperfeiçoando a forma como o manejo será conduzido (BENSUSAN, 2006). O monitoramento de áreas protegidas permite avaliar de forma sistemática os impactos de fatores externos, como perda de habitat, alterações na estrutura da paisagem, mudanças climáticas locais, entre outros (LEVERINGTON et al., 2010).

Hockings et al. (2006) define monitoramento como a coleta frequente de informações por meio de indicadores para investigar tendências no estado da UC e nas atividades e processos de gestão. Segundo o autor, o monitoramento baseado em indicadores consistentes e sistemáticos sobre as populações humanas, ecossistemas e suas tendências, pode dar um importante suporte às tomadas de decisão, a formulação e reformulação de políticas públicas, e de ações de manejo. Os instrumentos de monitoramento, contudo, devem ser adaptados às demandas particulares da área, uma vez que cada UC tem seus próprios objetivos, características biológicas e socioeconômicas, usos e pressões. Nesse sentido, métodos que buscam um conjunto genérico de indicadores têm suas capacidades de monitorar e avaliar limitadas, pois não consideram os objetivos e valores específicos das UCs.

Os *Indicadores* são medidas, geralmente, quantitativas, para operacionalizar a mediação de conceitos abstratos, de interesse teórico (pesquisa acadêmica) ou programático (formulação de políticas). Um *sistema de indicadores* é o conjunto destes indicadores referidos a múltiplas dimensões, para caracterizar um fenômeno, socioterritorial de interesse (JANNUZZI, 2012).

Indicadores podem ser classificados como simples ou compostos, em função da quan-

tidade de informações usadas na sua definição. Os indicadores simples são construídos a partir de uma estatística específica, referida a uma dimensão específica. Os indicadores compostos, ou sintéticos, por sua vez, são construídos através da aglutinação de dois ou mais indicadores simples. Os indicadores compostos tendem a possuir maior capacidade de síntese, entretanto a sintetização das informações pode incorrer na perda de proximidade entre os conceitos envolvidos e a medida (JANNUZZI, 2012).

Para a elaboração de um sistema de indicadores Jannuzzi (2012) sugere um roteiro metodológico composto de quatro etapas[3], descritas na Figura 2.1

Figura 2.1 - Construção de um sistema de indicadores.

Fonte: Adaptado de Jannuzzi (2012).

As quatro etapas metodológicas para a construção de um sistema de indicadores são: *a*) Definição operacional do conceito abstrato ou temática à que se refere o sistema; *b*) Especificação das dimensões, das diferentes formas de interpretação ou de abordagem do conceito definido, fazendo com que seja um objeto específico, claro e passível de ser indicado quantitativamente; *c*) Obtenção de estatísticas pertinentes, provenientes de Censos Demográficos, pesquisas amostrais, levantamentos em campo, entre outros; e *d*) A partir das estatísticas disponíveis, o cálculo dos indicadores, compondo um Sistema de indicadores, operacionalizando o conceito abstrato inicial.

Apesar dos indicadores serem necessários e úteis para o monitoramento, elaboração

[3]O debate sobre indicadores em Jannuzzi (2012) se dá no contexto das ciências sociais, mas foi adaptado para a definição do arcabouço conceitual utilizado neste trabalho.

de diagnósticos e definição de prioridades de ação em APs, seus usos demandam cuidados para evitar generalizações associadas às análises de medidas de posição (médias, medianas e modas), e, assim, ocultar diferenciais socioterritoriais e ambientais. Nesse sentido, Moretti e Ghilardi (2015) consideram importante para alguns indicadores, em função de suas características, analisar a distribuição espacial do indicador no território, ao invés da análise de um único valor médio para todo o território, e quantificar e analisar a dispersão, ou variabilidade, das observações que compõem o indicador médio, para que se possa considerar as desigualdades e, também, identificar situações extremas, distantes da condição média observada no território.

Diversos sistemas de indicadores de monitoramento e avaliação de APs foram implementados em todo o mundo (HOCKINGS et al., 2006). No Brasil, cerca de quinze metodologias, algumas com adaptações, foram utilizadas (SILVA, 2012). Os métodos mais populares aplicados nas UCs brasileiras foram o RAPPAM, desenvolvido pela *World Wildlife Fund for Nature* (WWF) (ERVIN, 2003) e a Ferramenta de Avaliação de Unidade de Conservação (FAUC - uma adaptação do *Management Effectiveness Tracking Tool*) (STOLTON et al., 2007). Estas metodologias são de aplicação em larga escala, voltadas para as demandas e a visão dos órgãos gestores, com ênfase na avaliação do papel do Estado no controle do sistema de UCs.

Para Marinelli (2011), apesar de fornecerem informações importantes e com certo grau de detalhamento, o RAPPAM e o FAUC não consideram as relações entre as populações locais, a biodiversidade e o uso responsável como parte dos processos que regem a dinâmica das UCs. Nesse sentido, de maneira complementar aos modelos em uso no Brasil, o Instituto Socioambiental (ISA)[4] criou o Sistema de Indicadores Socioambientais para Unidades de Conservação (SISUC). O SISUC consite em um conjunto de indicadores qualitativos de avaliação e monitoramento estratégico, destinado a ampliar o controle social e fortalecer a gestão participativa das UCs na Amazônia.

Diversos sistemas de monitoramento de APs em todo o mundo utilizam o sensoriamento remoto como fonte primária de dados. Fraser et al. (2009) relatam a experiência da Agência Canadense de Parques em monitorar os seus 43 parques nacionais terrestres. O *Park Ecological Integrity Observing System* (Park-EIOS) consiste em indicadores de integridade ecológica obtidas a partir de séries temporais de cober-

[4]O Instituto Socioambiental (ISA) é uma organização da sociedade civil brasileira, dedicada à questões sociais e ambientais.

tura da terra derivadas de dados Landsat. O método demonstrado pelos autores tem sido efetivo em apoiar o monitoramento de territórios remotos e extensos (276.275 km^2) no Canadá. De modo semelhante, Wang et al. (2009) descrevem a construção de uma metodologia para detecção e monitoramento de mudanças de cobertura da terra no interior e nas adjacências de Parques Nacionais no noroeste dos Estados Unidos, também baseada em dados da série histórica Landsat. Nemani et al. (2009) apresentam uma abordagem para monitoramento e modelagem das condições ecossistêmicas de APs através de indicadores padronizados utilizando produtos do sensor MODIS (NASA, 2016) e o sistema de modelagem *Terrestrial Observation and Prediction System* – TOPS(NEMANI et al., 2002). A abordagem foi aplicada em dois níveis, local e nacional, visando demonstrar a utilidade do TOPS em apoiar o monitoramento de APs, bem como de sistemas nacionais de APs.

Apesar de seu potencial, a utilização mais ampla do sensoriamento remoto, geralmente, é limitada pela falta de recursos humanos nas APs para trabalhar com as técnicas de análise e a gama de dados que o sensoriamento remoto oferece (KENNEDY et al., 2009). Nesse contexto, Kennedy et al. (2009) buscam esclarecer conceitos e etapas metodológicas genéricas para a elaboração de projetos de monitoramento baseados em sensoriamento remoto. Jones et al. (2009) apresentam um arcabouço conceitual (*framework*) para desenvolver sistemas de monitoramento do uso e cobertura da terra em APs. O *framework* proposto baseia-se em teorias da ecologia, que explicam como mudanças de uso e cobertura da terra impactam os recursos da AP, e ajudam a identificar indicadores de monitoramento relacionados aos seus objetivos e valores específicos.

2.3 A questão da ocupação humana em unidades de conservação

Lidar com populações humanas que residem em APs ou seu entorno tem sido um dos grandes desafios para a gestão destes espaços. Desde a implementação das primeiras APs no mundo, conflito, expulsão e realocação das populações que vivem dentro dos limites das APs têm sido a regra (BENSUSAN, 2006). A questão da relação entre a população humana inserida em APs e a preservação destes espaços tem sido amplamente discutida desde a criação do Parque Nacional de Yellowstone, em 1872, nos Estados Unidos. A criação do Parque tinha como objetivo preservar paisagens únicas e intocadas para turismo e recreação, e não permitia que populações humanas habitassem neste espaço protegido. Tal modelo de APs foi bastante criticado por ter expulsado as populações indígenas que tradicionalmente habitavam a região em que o parque foi criado (DIEGUES, 2008), desconsiderando a existência, as práticas, os

anseios e as necessidades de populações que viviam na área que viria a ser protegida.

O deslocamento das populações e as restrições de uso dos recursos naturais em APs demonstraram ser uma ameaça à reprodução de populações consideradas tradicionais, geralmente já castigadas pela pobreza. Além disso, observou-se que nem sempre as práticas produtivas dessas populações eram incompatíveis com os objetivos da conservação (DIEGUES, 2008). Em resposta a este modelo que excluía as populações que viviam nas APs, a partir da década de 1970, as diretrizes internacionais de APs foram modificadas para possibilitar a ocupação humana mediante a regulação do uso dos recursos naturais. Atualmente, diversas categorias de manejo foram implementadas em todo o mundo, das mais restritivas às intervenções humanas àquelas que permitem populações em seu domínio fazendo uso sustentável dos recursos naturais (SCHERL et al., 2004).

O debate acerca da sustentabilidade em APs começou a ser cunhado no Plano de Ação de Bali, produto do Terceiro Congresso Mundial de Parques de 1982, que recomenda às APs em todo o mundo *"promover a conexão entre gestão de APs e desenvolvimento sustentável"* (MCNEELY; MILLER, 1984, p. 762). Dez anos depois, no Quarto Congresso Mundial de Parques, é feita a recomendação de que a gestão de APs deve ser realizada de forma sensível às necessidades e preocupações das populações locais (MCNEELY, 1993). Desde então, a noção de *desenvolvimento sustentável* passou a ser utilizada como referência para mediar a questão da ocupação humana em APs.

No Brasil, as diretrizes internacionais propostas pela IUCN que promovem o *desenvolvimento sustentável* em APs foram incorporadas aos objetivos do SNUC, e ao grupo de categorias de manejo denominado de uso sustentável. O SNUC define como uso sustentável a *"exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável"* (BRASIL, 2000, Art. 2º).

Bensusan (2006) reconhece algumas categorias de manejo do grupo de uso sustentável como uma tentativa inovadora de conciliação entre a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais, e a satisfação dos desejos e das necessidades da população que ocupa esse espaço protegido. Diegues (2008) considera que as categorias de manejo que conciliem as condições sociais, econômicas e culturais de populações tradicionais, e os objetivos de conservação, devem ser valorizadas. Além disso, é preciso distinguir entre as formas de relação da população humana com a

natureza que impactam negativamente e as que conduzem à sustentabilidade.

Apesar da questão sobre ocupação humana em UCs ter sido amplamente discutida no meio técnico e científico, essa discussão ocorre, predominantemente, no contexto de populações tradicionais em UCs de categoria de manejo mais restritivas (*e.g.*, Parques Nacionais). Algumas APAs e outras UCs brasileiras em específico fogem deste contexto, e muitas vezes incluem áreas urbanas, bem como suas inerentes atividades econômicas. Em áreas urbanas, a gestão de UCs torna-se ainda mais complexa, pois estes territórios são muito dinâmicos, e concentram pressões sobre os recursos naturais, considerado o modo de vida urbano-industrial dominante. Nestas áreas os consumos de água e energia são elevados, ocorre geração de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos, domésticos e industriais, poluição atmosférica derivada de indústrias e automóveis, impermeabilização excessiva do solo, entre outros. Além disso, parte da população urbana sofre com a insuficiência de renda e vive em condições de acesso desigual em relação aos bens de consumo coletivo e seus serviços, como água, transporte, saneamento e etc..

Ainda assim, Martine (2007) elenca razões demográficas, sociais, econômicas e até ambientais justificando a configuração urbana em espaços adensados como mais sustentável do que se a população estivesse dispersa. A urbanização, além de inevitável, é ambientalmente vantajosa pois, entre outros aspectos, reduz o ritmo do crescimento populacional e evita a apropriação de espaços naturais, que seriam destinados para práticas agrícolas. Além disso, os impactos ecologicamente negativos relacionados aos centros urbanos estão mais ligados aos padrões de desenvolvimento, de uso da terra e ao gerenciamento urbano inadequados do que com o tamanho ou densidade da população em si. O autor ainda considera ser necessário planejar padrões sustentáveis de expansão urbana e políticas de uso da terra – como a criação e manutenção de APAs – de modo a reduzir impactos sociais e ambientais negativos em áreas urbanas.

Alguns trabalhos relatam desafios em atingir uma gestão sustentável em APAs e outras UCs inseridas em contextos urbanos. Gonçalves et al. (2011) relata os desafios da APA de Petrópolis-RJ em conciliar a conservação e as populações humanas inseridas no espaço protegido, como ocupações irregulares de áreas de risco, atividades poluidoras, degradação dos corpos d'água e supressão das florestas remanescentes. A APA foi criada em 1982, e compreende grande parte do município, incluindo sua parcela urbana. Segundo o autor, os conflitos entre a população e a gestão da APA se agravam, pois o manejo não é participativo, e as decisões são baseadas em uma

visão *preservacionista* não condizente com a categoria de manejo e o contexto na qual se insere.

Em um contexto de manejo diferente, o Parque Nacional da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, lida com a alta complexidade em se gerir uma UC de proteção integral em meio a uma metrópole. O parque foi criado em 1961 com o objetivo de preservar a biodiversidade na floresta da Tijuca e servir como opção de recreação e lazer para a população do Rio de Janeiro. A ocupação humana em seu domínio não é permitida, mas sofre pressões pela ocupação do território de 43 assentamentos de baixa renda localizados em sua vizinhança. Diante desta complexidade, a gestão da UC enfrenta o desafio de integrar estratégias de preservação da biodiversidade e inclusão social da comunidade local (IBASE, 2006).

Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável, Teixeira (2005) relata a experiência bem sucedida de propostas alternativas do uso dos recursos naturais aliada a estratégias de conservação para a APA de Guaraqueçaba, localizada no litoral norte do Paraná. A autora considera que o processo de naturalização da sociedade pode trazer algumas soluções para os impactos ambientais causados pela pequena agricultura local presente na APA. Este processo se materializou através da implantação de novas técnicas produtivas adequadas aos objetivos da UC.

2.4 O sensoriamento remoto no apoio à gestão de UCs

O sensoriamento remoto possui enorme potencial no apoio ao monitoramento, e, consequentemente, à gestão de UCs, pois permitem monitorar grandes áreas sistematicamente, mesmo que de difícil acesso, diminuindo a necessidade de amostragens e medições *in situ*, que são bem mais custosas e longas. As imagens de sensoriamento remoto possuem resoluções espacial, temporal, radiométrica e espectral, que devem ser consideradas ao definir a abordagem e a aplicação no monitoramento de UCs. Além destas, outras variáveis como o preço, disponibilidade de séries históricas, cobertura geográfica, e presença de nuvens podem influenciar sua aplicação.

Desde o lançamento do primeiro satélite norte americano da série Landsat, em 1972, é crescente o uso de imagens de sensoriamento remoto para o monitoramento dos recursos terrestres. A plataforma coleta imagens capazes de representar as interações humanas com os ecossistemas terrestres, e ainda abrange uma extensão compatível com análises sistemáticas sobre grandes áreas. A série Landsat fornece o mais longo e consistente registro de observação terrestre por satélite. A livre disponibilidade de todos os dados do Landsat fornece uma oportunidade para a análise da mudanças

na superfície terrestre em múltiplas escalas temporais (ROY et al., 2014). No entanto, esses dados são limitados para fornecer informações sobre as alterações na qualidade do habitat, a distribuição das espécies e distúrbios numa escala mais fina, e, portanto, a integração com dados de outros sensores deve ser considerada (NAGENDRA et al., 2013).

As imagens de alta resolução espacial são capazes de delinear um conjunto maior de classes de uso e cobertura, identificar objetos menores, manter a forma dos objetos, além de detectar alvos estreitos e lineares. Tais vantagens, podem melhorar a acurácia de classificações de uso e cobertura da terra, uma vez que torna-se possível utilizar técnicas derivadas da análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA, *Geographic Object-Based Image Analysis*), conjunto de técnicas de processamento digital de imagens e reconhecimento de padrões adaptadas da área de visão computacional para lidar com imagens de sensoriamento remoto orbital (BLASCHKE, 2010; HAY; CASTILLA, 2008) e, assim permitem análises mais detalhadas e de regiões menores. Mas apesar das imagens de alta resolução superarem as imagens de resoluções mais baixas para capturar objetos menores, a presença de sombras na identificação dos objetos pode dificultar a interpretação e o processamento automático (BOYLE et al., 2014). Ao aumentar a resolução, seja ela espacial, espectral ou radiométrica, a quantidade de dados que se manipula é maior, e assim os custos computacionais para o processamento também são mais altos. Além disso, o uso de altas resoluções é limitado para estudos em grandes regiões, pois a alta resolução espectral e/ou espacial é obtida pela redução da faixa imageada pelo sensor (NOVO, 2010)

Outra tendência atual é a consolidação de sensores com altíssima resolução espectral, que se caracterizam pela capacidade de adquirir imagens em um grande número de bandas relativamente estreitas do espectro eletromagnético (ROTH et al., 2015; CLARK et al., 2011; OLDELAND et al., 2010; HAEST et al., 2010). Em função do maior detalhamento do comportamento espectral do alvos que os dados adquiridos por estes sensores permitem, é possível obter detalhes sobre as propriedades físico-químicas dos materiais presentes na superfície imageada (JENSEN, 2007). Os dados hiperespectrais podem ser utilizados no monitoramento de APs para obter informações da vegetação, geologia, oceanografia e águas superficiais interiores, solos, entre outros.

Outra alternativa interessante para o monitoramento de APs é o sensoriamento remoto ativo, como o RADAR e o laser. O desenvolvimento destes sensores e de

técnicas para trabalhar com seus dados são especialmente importantes, pois são as únicas fontes de informações viáveis para as porções tropicais da Terra (JENSEN, 2007), uma vez que são capazes de imagear áreas com constante e perene cobertura de nuvens. Estas regiões são caracterizadas por serem biologicamente ricas e profundamente ameaçadas, e portanto, de especial interesse para monitorar áreas protegidas. Outra vantagem é a possibilidade de se obter modelos digitais de elevação (MDE), por meio de técnicas aplicadas a dados de RADAR ou laser.

Nagendra et al. (2013) fazem uma extensa revisão demonstrando a utilidade do sensoriamento remoto em prover dados espaciais para gestores de áreas protegidas, seja para informações sobre mudanças nos habitats, na distribuição de espécies, ou para identificar tendências de pressões e ameaças. Foram analisados trabalhos referentes à conservação da biodiversidade, elencando as possibilidades de monitoramento de áreas protegidas a partir das características dos sensores, como resumido na Tabela 2.1.

Apesar das evidentes vantagens de se utilizar dados de sensoriamento remoto na gestão de unidades de conservação, dificilmente as instituições responsáveis pela gestão contam com corpo técnico especificamente capacitado para processar e obter as informações necessárias a partir destes dados. Esta é uma condição global na gestão de unidades de conservação (NAGENDRA et al., 2013) em que o Brasil não é exceção. Para que todo o potencial das imagens de sensoriamento remoto possa ser útil, faz-se essencial tornar acessível, aos gestores e ao corpo técnico das unidades de conservação de maneira geral, o conjunto de dados, conceitos, métodos e técnicas para o processamento de dados de sensoriamento remoto em APs.

2.5 Relações entre o uso e cobertura da terra e a proteção dos mananciais

Uma vez que o principal objetivo da APA-MRPS é proteger os mananciais de abastecimento da BHPS, e este trabalho propõe uma abordagem para o monitoramento da UC baseada em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, que fornecem, essencialmente, informações sobre o uso e cobertura da terra, torna-se fundamental discutir quais as funções ecológicas e possíveis impactos que os diferentes tipos de usos e coberturas da terra exercem para a proteção dos mananciais. Esta seção apresenta estas relações entre o uso e cobertura da terra predominantes na BHPS sobre o processo hidrológico, entretanto deve-se considerar que tais relações baseiam-se em consensos gerais encontrados na literatura e podem variar de região para região em função das características da vegetação, do solo, do relevo, do clima,

Tabela 2.1 - Sumário de dados de sensoriamento remoto aplicáveis ao monitoramento de áreas protegidas.

Sensor	Utilidade no monitoramento de áreas protegidas
Baixa resolução espacial	- Alertas de desmatamento e queimadas em "tempo real"; - Mapeamento de mudanças na atividade fotossintética para prever mudanças ecológicas e climáticas.
Média resolução espacial	- Captura de padrões de habitats em áreas extensas; - Mensuração de degradação do habitat; - Indicar biodiversidade; - Identificar pressões antrópica.
Alta resolução espacial	- Mapeamento de remanescentes florestais homogêneos em escala menor; - Identificação de corredores ecológicos, geralmente mais estreitos e difíceis de mapear; - Identificação de pequenos distúrbios, e desmatamentos; - Delineamento das copas de árvores.
Alta resolução temporal	- Variação de medidas biofísicas em escala temporal intra-anual; - Maior probabilidade de se conseguir imagear regiões tropicais; - Informações de espécies invasoras e outras de interesse.
Alta resolução espectral	- Distinção de tipos de habitat e identificação de florestas sucessoras - Avaliação do estresse baseado em mudanças na composição química da folhagem - Diferenciação de comunidades vegetais espectralmente similares - Mapeamento das espécies e identificação de invasoras - Relacionamento da variedade espectral a biodiversidade.
Sensores ativos	- Abrangência de áreas cobertas por nuvens - Aquisição de dados em três dimensões para diferenciar estruturalmente habitats.

Fonte: Adaptado de Nagendra et al. (2013).

entre outros aspectos.

Entende-se por *cobertura da terra* a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre – *e.g.*, floresta, gramínea, água, ou área construída –; *uso da terra* está relacionado aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo, pecuária, área residencial, silvicultura ou mineração. Uma cobertura pode ter usos múltiplos – *e.g.*, a cobertura floresta pode estar associada aos usos conservação da biodiversidade, silvicultura, ou até mesmo não ter uso algum –, ao mesmo tempo que um único uso pode estar associado a diversas coberturas – *e.g.,* o uso mineração, pode estar associado a áreas construídas, solo exposto ou água (TURNER; MEYER, 1994).

Os recursos hídricos têm sido estudados de modo a compreender os impactos da presença e conversão dos diferentes usos e coberturas da terra sobre as bacias hi-

drográficas (ALBERTI et al., 2007; ALLAN, 2004; ALBERTI, 2005; TOWNSEND et al., 2003; SHANDAS; ALBERTI, 2009; NAGLER et al., 2009; SHI; YU, 2014). Alterações na cobertura natural da terra podem modificar o escoamento superficial, a recarga dos aquíferos, a qualidade da água, o transporte de sedimentos, entre outros impactos sobre os componentes do ciclo hidrológico (TOWNSEND et al., 2003; ALLAN, 2004; ALBERTI, 2005). Os efeitos de tais mudanças podem ainda ser localmente potencializadas em função da proximidade de corpos hídricos, tipos de solo e declividade (USEPA, 1994).

A cobertura *florestal* – característica do bioma Mata Atlântica, que é predominante na BHPS – desempenha um importante papel na hidrologia de uma bacia, e sua conservação implica na proteção direta dos mananciais hídricos da bacia (NEARY et al., 2009; DUDLEY; STOLTON, 2003). As florestas contribuem para o processo de infiltração de água no solo, uma vez que a cobertura florestal intercepta a água da chuva, diminui sua velocidade e mantém a umidade do solo, permitindo que infiltre lentamente. Este processo é particularmente importante em topos de morro, onde os solos são mais profundos, pois permite maior armazenamento de água no solo. Outra função ecológica das florestas é a proteção do solo, especialmente importante em áreas com declividade elevada, pois reduz o escoamento superficial e favorece a infiltração, evitando processos erosivos e, consequentemente, reduzindo a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais. Outras coberturas de vegetação também podem desempenhar a proteção do solo, mas a floresta natural e em estágios avançados de regeneração é a cobertura mais indicada por suas características de interceptação, sub-bosque, serrapilheira e raízes, as quais contribuem para menores taxas de erosão e, consequentemente, menor produção de sedimentos que causam assoreamento e alterações diversas nos mananciais. As áreas de alta declividade não são propícias ao desenvolvimento de atividades agrícolas e pecuárias, e para a ocupação humana, apresentando vocação natural para a cobertura florestal. As florestas exercem também a função de proteção ripária, que envolve aspectos físicos como o sombreamento do canal, e regulação temperatura da água, melhoria da qualidade da água, pois retém sedimentos e nutrientes. Além disso, em zonas ripárias, as florestas desempenham a função de regular o fluxo de água, pela atenuação dos fluxos superficiais e subsuperficiais, e produção de água, pois alimentam os corpos d'água em períodos de estiagem (TUCCI; MENDES, 2006; NEARY et al., 2009; LIMA et al., 2013).

Outros tipos de cobertura de vegetação, como *herbáceas ou arbustivas*, têm potencial reduzido de desempenhar funções ecológicas relacionadas de modo a proteger os

mananciais em relação à floresta natural, mas apresentam vantagens em comparação aos usos e coberturas em que ocorre a remoção total da vegetação.

Exceto pelas funções das florestas em zonas ripárias, as *florestas plantadas* podem desempenhar funções ecológicas, a depender da espécie e da forma como está sendo manejada. As florestas plantadas contribuem para o processo de infiltração de água, e a proteção do solo, mas não têm o mesmo desempenho quanto a produção de água e regulação do regime de vazão, uma vez que demandam muita água para sua manutenção (LIMA, 2010). Ademais, algumas etapas do manejo florestal, como o corte raso da floresta plantada (colheita), podem ocasionar aumentos na concentração de sedimentos em suspensão nos mananciais, perdas de solo e nutrientes, que são prejudiciais à qualidade da água (STOTT et al., 2001; PENNINGTON; LAFFAN, 2004).

Uma vez removida a cobertura florestal natural, as coberturas ou usos que a sucedem apresentam desempenho inferior em exercer as funções ecológicas sobre o ciclo hidrológico para proteção dos mananciais (LIMA et al., 2013). A vegetação de gramíneas contribui, mas de maneira reduzida, para proteção do solo e infiltração de água na terra, apresentando vantagens para a proteção dos mananciais apenas quando comparada a coberturas da terra onde não há vegetação. Além disso, a cobertura está associada ao uso agropecuário. Diversos estudos encontraram uma redução na vazão e qualidade da água, do habitat e da diversidade biológica em rios à medida que a cobertura da terra na bacia foi convertida para usos agropecuários (RICHARDS et al., 1996; SPONSELLER et al., 2001). Na pecuária, o pisoteio animal nas margens de corpos d'água podem causar compactação do solo e desencadear processos erosivos. Também, atividades agrícolas fazem uso frequente de substância químicas como pesticidas, herbicidas, fertilizantes e resíduos animais visando aumentar a produtividade agrícola, que, se manejados de maneira inadequada, podem contaminar os mananciais (ALLAN, 2004).

Em ambientes urbanos, o solo é altamente impermeabilizado com edificações e pavimentos, e a água é drenada através das galerias de águas pluviais. Estas mudanças na cobertura da terra impactam o ciclo hidrológico de diversas maneiras: *a*) reduzindo a infiltração no solo, o que tende a diminuir o nível do freático do aquífero por falta de alimentação; *b*) reduzindo o escoamento subterrâneo; *c*) aumentando a capacidade de escoamento superficial por meio de condutos, canais e impermeabilização da superfície, ocasionando aumentos nas vazões médias dos corpos hídricos; *d*) produzindo e transportando sedimentos provocando assoreamento dos corpos d'água e transporte de poluente agregado ao sedimento, o que contamina as águas fluviais;

e finalmente, *e*) reduzindo a evapotranspiração devido a conversão da cobertura vegetal (TUCCI; MENDES, 2006). Ademais, os resíduos sólidos e efluentes, domésticos e industriais, produzidos em áreas urbanas são fontes potenciais de poluição dos mananciais, caso sejam dispostos de maneira inadequada (BRAGA et al., 2005).

A cobertura de *solo exposto* está associada a processos erosivos em curso ou *minerações*. Nestas regiões o solo é impermeabilizado, favorecendo o escoamento superficial, e contribuindo para a ocorrência/agravamento de processos erosivos e, consequentemente, aumentar a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais. Além disso, atividades mineradoras podem provocar danos graves aos mananciais. A água em contato com rochas mineralizadas pode ser contaminada por metais pesados e, por isso, as atividades de extração mineral representam uma fonte de alto potencial poluidor de águas subterrâneas e superficiais. Existem também riscos inerentes à operação das minerações, como vazamento de rejeitos (MECHI; SANCHES, 2010; WENDLAND; MARIN, 2013).

3 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES

3.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende a porção paulista da APA-MRPS, localizada na BHPS. A bacia hidrográfica drena uma das regiões mais industrializadas do país, com grande concentração populacional e, consequentemente, apresenta dinâmicas complexas de interação entre o homem e os recursos hídricos locais. Com uma área de drenagem de 61.307 km^2, a BHPS abrange parte do Estado de São Paulo, a região conhecida como Vale do Paraíba Paulista, a área do Estado de Minas Gerais denominada Zona da Mata Mineira, e metade do Estado do Rio de Janeiro. São 183 municípios com territórios total ou parcialmente inseridos na bacia, sendo 39 localizados no Estado de São Paulo, 56 no Estado do Rio de Janeiro e 88 em Minas Gerais. Entre outros interesses, a BHPS é estratégica para o abastecimento de cerca de 15 milhões de pessoas nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, população atualmente impactada pela estiagem prolongada (AGEVAP, 2014).

Figura 3.1 - Área de estudo: unidades paulistas da APA-MRPS.

Fonte: Hidrografia: Agência Nacional de Águas (ANA); APA-MRPS: ICMBio; Limites estaduais: IBGE; Uso/cobertura da terra: SOSMA/INPE. Mapa organizado pelo autor.

A APA-MRPS foi criada por meio do decreto federal nº 87.561 de 13 de setembro de 1982 , com o objetivo específico de proteger os mananciais de abastecimento da BHPS, além dos objetivos gerais inerentes a uma APA de proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 1982). Desde sua criação, o manejo e a gestão dessa unidade de conservação, não foram plenamente implementados conforme determina o SNUC.

A APA-MRPS possui uma configuração espacial de unidades disjuntas nos três Estados que compõe a BHPS – São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais –, e é gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Entretanto, apenas no Estado de São Paulo os limites geográficos das unidades da APA-MRPS são conhecidos. Nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais a abrangência da APA encontra-se em fase de levantamento/identificação (BRASIL, 2010), e por isso, a área objeto deste estudo foi restrita às unidades paulistas da APA-MRPS (Figura 3.1).

Somando-se as áreas das unidades paulistas da APA-MRPS, totalizam-se 292.409 ha, estendendo-se desde a região metropolitana de São Paulo até o limite com o estado do Rio de Janeiro, e do alto Serra da Mantiqueira, limite com Minas Gerais, até a Serra do Mar. As unidades situam-se em 24 municípios do Vale do Paraíba, cujas proporções de cada unidade sobreposta aos municípios encontram-se listadas na Tabela 3.1.

3.1.1 O contexto histórico ambiental de criação da APA-MRPS

A criação da APA-MRPS sucede dois momentos da gestão ambiental no Brasil, ambos na década de 1970, que são importantes para uma leitura mais detalhada do seu objetivo específico e de sua configuração espacial, e para justificar alguns recortes adotados posteriormente. No primeiro momento a elaboração de leis e diretrizes foi orientada para atuar sobre os efeitos da industrialização, ocorrida entre as décadas de 1940 e 1960, estabelecendo regulamentações para o controle à poluição solo, água e ar. No segundo momento, foram adotadas as primeiras iniciativas de planejamento territorial-ambiental ao se determinar a formulação de um zoneamento industrial para áreas críticas de poluição (Agra Filho, 2013), dentre as quais se enquadrava a BHPS (BRASIL, 1975b; BRASIL, 1975a).

Entre 1979 e 1981, o Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEEIVAP, desenvolveu, o denominado Projeto Gerencial CEEIVAP 0003/79, para atender a demanda de um zoneamento para a bacia do

Tabela 3.1 - Unidades da APA-MRPS e os municípios aos quais pertencem.

Unidade da APA-MRPS	Município	Percentual
Areias	Areias	100%
Bananal	Bananal	100%
Cachoeira Paulista	Silveiras	59,6%
	Cachoeira Paulista	40,4%
Cruzeiro	Cruzeiro	100%
Guaratinguetá 1	Guaratinguetá	100%
Guaratinguetá 2	Guaratinguetá	100%
Jaguarí	Santa Isabel	43,0%
	Igaratá	20,4%
	S. José dos Campos	13,7%
	Guarulhos	8,9%
	Jacareí	8,4%
	Arujá	5,7%
Lavrinhas	Lavrinhas	100%
Monteiro Lobato	S. José dos Campos	60,0%
	Monteiro Lobato	40,0%
Paraibuna	Natividade da Serra	39,2%
	Paraibuna	37,3%
	Jambeiro	7,0%
	Redenção da Serra	6,2%
	Jacareí	6,1%
	Santa Branca	4,3%
Piquete	Piquete	100%
Putim	S. José dos Campos	100%
Queluz	Queluz	100%
S. José do Barreiro	S. José do Barreiro	100%
Una	Taubaté	93,5%
	Redenção da Serra	3,4%
	Pindamonhangaba	3,1%

Paraíba do Sul. Este zoneamento realizou uma série de estudos para a bacia, e produziu um conjunto de diretrizes de ordenamento espacial para os diversos tipos de uso do solo. Foram estabelecidas nove categorias de uso do solo: (1) Urbana e de expansão; (2) Industrial (tipos A, B, C, D); (3) Agrícola; (4) Agrícola e pecuária; (5) Pecuária e reflorestamento; (6) Reflorestamento e preservação; (7) *Proteção de mananciais* (tipos A, B); e (9) Preservação permanente (CEEIVAP, 1980).

No ano seguinte ao término do projeto do CEEIVAP – em 1982 – as áreas do zoneamento categorizadas como de "proteção de mananciais" deram origem à APA-MRPS através do decreto n. 87.561, de 13 de setembro de 1982, justificando sua configuração espacial atípica em unidades disjuntas. Como diretrizes de uso do solo para tais áreas, o projeto sugeria que fossem "*destinadas à proteção dos mananciais superficiais de abastecimento urbano, compreendendo as bacias de drenagem dos pontos de captação utilizados*" (CEEIVAP, 1980, grifo nosso, p.11). Além disso,

as diretrizes propõem como usos preferenciais para as áreas de proteção dos mananciais do *tipo A*, silvicultura, mata natural e paisagismo, sendo aceitável o lazer, após a elaboração de um plano de manejo. Para as de *tipo B*, ainda são aceitáveis usos agropecuário, comercial, residencial e industrial, condicionados à avaliação dos impactos ambientais.

O decreto de criação da APA-MRPS complementa, tendo em vista o que à época era instituído como "Área de Proteção Ambiental", que nestas áreas estariam proibidas: *a*) a implantação de indústrias potencialmente poluidoras, capazes de afetar os mananciais; *b*) a realização de obras de terraplanagem e a abertura de canais quando essas iniciativas importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais; *c*) o exercício de atividades capazes de provocar acelerada erosão das terras ou acentuado assoreamento das coleções hídricas; e *d*) o exercício de atividades que ameacem extinguir as espécies raras da biota regional (BRASIL, 1982).

3.2 Metodologia para construção do iSAM

Cinco etapas foram definidas para a construção do **iSAM**: *a*) a primeira etapa foi definir um modelo conceitual com três dimensões – Ecológica, Social e Econômica – baseado nos objetivos da unidade de conservação; *b*) a segunda etapa consistiu na construção dos indicadores da dimensão Ecológica, cujas estatísticas foram obtidas a partir do mapeamento histórico do uso e cobertura da terra, utilizando imagens de SR da série Landsat para os anos de 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015, bem como a determinação de suas importâncias relativas, considerando suas relações com as necessidades de proteção dos mananciais; *c*) a terceira lidou com a produção dos indicadores das dimensões Social e Econômica, cujas estatísticas foram obtidas a partir dos Censos Demográficos de 2000 e 2010, e que envolveu a compatibilização espacial das malhas censitárias, o tratamento da instabilidade dos indicadores em pequenas áreas, e a redistribuição dos dados censitários; *d*) a quarta etapa, para integrar dados populacionais e territoriais, foram definidos procedimentos de integração de bases de dados heterogêneas através de um espaço celular; e, por fim, *e*) na quinta etapa foi realizado o cálculo e proposta uma representação gráfica para os indicadores compostos. A Figura 3.2 apresenta as etapas metodológicas percorridas neste trabalho.

O **iSAM** completo, com os indicadores das três dimensões, foi aplicado para as datas de 2000 e 2010. As estatísticas de uso e cobertura da terra foram criadas para as datas 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015, com o objetivo de, além de obter as estatísticas da dimensão Ecológica, analisar sua dinâmica desde a criação da APA-

Figura 3.2 - Etapas metodológicas do trabalho.

Fonte: Produzido pelo autor.

MRPS. A unidade espacial de referência utilizada para a criação do **iSAM** foram células regulares de $200 \times 200\,m$.

3.2.1 Modelo conceitual multidimensional

O conceito a ser operacionalizado neste trabalho tem como ponto de partida os objetivos gerais de UCs de uso sustentável, APAs, e os específicos da unidade de conservação em estudo, a APA-MRPS.

Como visto anteriormente, as unidades de uso sustentável tem como objetivo básico compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000). Sendo que o SNUC entende como uso sustentável a "*exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável*" (BRASIL, 2000, Art. 2º).

As APAs têm como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade de uso dos recursos naturais.

Além dos objetivos inerentes ao grupo e categoria de manejo, a APA-MRPS tem o objetivo particular de *proteger os mananciais superficiais* de abastecimento da BHPS (BRASIL, 1982; CEEIVAP, 1980). Por "proteção dos mananciais superficiais", entende-se o manejo dos recursos naturais, que visem manter ou melhorar as condições de fontes hídricas superficiais que possam ser utilizadas para atender às diversas demandas consuntivas (BRASIL, 2000; ANA, 2015).

O conceito de sustentabilidade, ou desenvolvimento sustentável, foi institucionalizado pelo SNUC, e está presente nos objetivos, principalmente, das unidades de uso sustentável, a fim de conciliar a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais com a ocupação humana em UCs. Entretanto, o termo traz uma série de questões conceituais. Para Nijkamp e Ouwersloot (1998), para que o conceito possa ser operacionalizado e assim subsidiar a tomada de decisões, a definição deve ser prática, mensurável e politicamente relevante.

O termo desenvolvimento sustentável foi discutido pela primeira vez no documento intitulado *World's Conservation Strategy*, e foi consagrado pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente - ONU, em 1987, que definiu em seu relatório final, *O Nosso Futuro Comum*: "*O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras*

atenderem a suas próprias necessidades" (CMMAD, 1991). Em 1992, a Conferência Internacional da Organização das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, adotou a Agenda 21 para transformar o desenvolvimento sustentável em uma meta global, estabelecendo os princípios do desenvolvimento sustentável (CNUD, 1992).

Veiga (2008) busca elucidar o conceito através de uma análise separada do termo "desenvolvimento" e sua característica "sustentável". O principal objetivo do desenvolvimento é a satisfação dos desejos e das necessidades do ser humano, promovendo a igualdade e elevando as vantagens daqueles que vivem em piores condições, de forma a reduzir a pobreza (SACHS, 2008). Para Sachs (2008), o crescimento não é sinônimo de desenvolvimento se não trouxer consigo geração de empregos, redução da pobreza e atenuação das desigualdades. O adjetivo sustentável traz ao conceito de desenvolvimento uma nova dimensão – a *ecológica* – às dimensões econômica e social. A sustentabilidade traz ao conceito de desenvolvimento a necessidade de garantir a qualidade de vida da população das gerações atuais e futuras, sem a destruição da sua base de sustentação, que é o meio ambiente (BELLEN, 2005).

Sendo assim, o desenvolvimento por muito tempo unicamente relacionado ao crescimento econômico passa a ser considerado sob três critérios essenciais – o *social*, o *ambiental* ou *ecológico*, e o *econômico* – no qual o objetivo é promover o bem-estar de todos (SACHS, 2000). Esses critérios estão fortemente interligados e na maioria das situações conflitantes (NIJKAMP; OUWERSLOOT, 1998), ou seja, a ênfase a qualquer uma dessas dimensões pode comprometer as demais.

Assim, o tema central para definição do sistema de indicadores deste trabalho apoia-se no pressuposto geral do desenvolvimento sustentável, e nos objetivos da APA-MRPS que demandam um conceito multidimensional, baseado em uma tríade que represente a dimensão ecológica, o desempenho econômico e as condições sociais através da construção de indicadores (VEIGA, 2010). A Figura 3.3 apresenta graficamente o modelo conceitual para concepção do **iSAM**.

A ***dimensão ecológica*** diz respeito, essencialmente, aos processos e dinâmicas dos usos e coberturas da terra na APA-MRPS. Estes processos associam-se diretamente à proteção da diversidade biológica, ao processo de ocupação, e à conservação dos recursos naturais, particularmente dos mananciais hídricos, para a manutenção da qualidade de vida e bem-estar das populações humanas. Esta dimensão parte do pressuposto que a composição e configuração da paisagem estão associadas à manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos.

Figura 3.3 - Modelo conceitual tridimensional – Ecológica, Social e Econômica – do iSAM.

Fonte: Produzido pelo autor.

Apesar de outros diversos fatores interagirem com a cobertura da terra para controlar os fluxos hidrológicos, apenas o uso e cobertura da terra podem ser modificados e manejados em escalas temporais compatíveis com as dinâmicas socioeconômicas, nas quais se estabelecem programas e políticas públicas para a conservação dos recursos hídricos. Sendo assim, variáveis como forma e relevo da área, apesar de importantes, não fazem parte do escopo deste sistema de indicadores.

A ***dimensão social*** identifica o perfil da população residente quanto às suas capacidades, conhecimentos e condições que lhes permitam, potencialmente dada as oportunidades, ampliar suas possibilidades econômicas e de qualidade de vida. Esta dimensão inclui os temas educação e saúde.

Nesta abordagem, a ***dimensão econômica*** retrata a capacidade do domicílio como uma unidade produtiva, a estrutura de renda familiar e o acesso ao mercado de trabalho da população inserida na APA-MRPS. Deste modo, os indicadores incluídos nesta dimensão integram os temas trabalho, rendimento e seu padrão distributivo.

3.2.2 Dimensão Ecológica

3.2.2.1 Mapeamento histórico do uso e cobertura da terra

O procedimento para o mapeamento histórico da APA-MRPS teve por objetivo reconstruir a dinâmica de uso e cobertura nas unidades da APA-MPRS desde a sua criação, e, assim, obter as estatísticas que constituem a dimensão Ecológica. Este procedimento foi realizado em cinco etapas: obtenção dos dados de SR; definição e caracterização das classes; pré-processamento; classificação de imagens orientada a objetos; e validação, descritas a seguir.

3.2.2.1.1 Dados de sensoriamento remoto

Um banco de dados geográficos, composto por dados orbitais de sensoriamento remoto, foi criado para o mapeamento histórico do uso e cobertura da terra. Foram utilizadas imagens ópticas dos sensores Thematic Mapper (TM) – Landsat 5 e Operational Land Imager (OLI) – Landsat 8. As imagens dos sensores da série Landsat foram escolhidas por fornecerem registros de observação terrestre na região geográfica de estudo desde uma data próxima à criação da APA-MRPS.

O produto da série Landsat adquirido foi o *Surface Reflectance Climate Data Record* (CDR), em que as imagens são disponibilizadas em reflectância de superfície, com atmosfera corrigida pelo modelo 6S (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*). Além das imagens ópticas, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente de dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução de 1 arco-segundo ($\sim 30m$). Ambos os dados são disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – do inglês, *United States Geological Survey*). A Tabela 3.2 lista os sensores e cenas utilizadas para o mapeamento por ano de referência.

Tabela 3.2 - Imagens de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho.

Satélite / Sensor	Cena (Órbita-Ponto)	Data de aquisição	Ano de referência
Landsat 5 / TM	218-076	21/mar/1985	1985
	218-076	15/out/1985	
	219-076	06/ago/1986	
Landsat 5 / TM	218-076	29/ago/1991	1991
	219-076	23/set/1992	
Landsat 5 / TM	218-076	10/jan/2000	2000
	218-076	18/jun/2000	
	219-076	25/jun/2000	
	218-076	22/set/2000	
	219-076	29/set/2000	
Landsat 5 / TM	219-076	24/ago/2010	2010
	218-076	02/set/2010	
Landsat 8 / OLI	218-076	31/ago/2015	2015
	219-076	23/set/2015	
SRTM		fev/2000	

Fonte: Produzido pelo autor.

As imagens Landsat foram selecionadas tendo como critérios (1) a não cobertura de nuvens, (2) a época do ano a fim de priorizar imagens com maior elevação solar, reduzindo os efeitos de sombreamento causado pela topografia, e (3) o distanciamento máximo de um ano entre cenas do mesmo ano de referência.

3.2.2.1.2 Definição e caracterização das classes

Para definir as classes do mapeamento de uso e cobertura da terra na APA-MRPS, inicialmente observaram-se os usos e coberturas discerníveis por interpretação visual nas imagens Landsat e dominantes das unidades da APA. Dentre as classes potenciais, selecionaram-se aquelas relacionadas à conservação dos recursos hídricos, como apresentado na Seção 2.5. O sistema padronizado de classificação (LCCS, *Land Cover Classification System*), desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations) (FAO, 2010), foi adotado para assegurar a interpretabilidade da classificação, permitir a utilização dos resultados para outras aplicações e permitir a sua comparação com mapas futuros. A Tabela 3.3 apresenta e define cada uma das classes de uso ou cobertura da terra utilizadas no mapeamento.

A classe de uso 'Cultura agrícola', apesar de ser relevante quanto às relações com os recursos hídricos e estar presente na região do Vale do Paraíba do Sul, não foi considerada para este mapeamento por dois motivos: não é frequente nas unidades da APA-MRPS, e quando presente, ocorre em áreas reduzidas ($\sim 10 pixels$). Áreas destinadas ao uso agrícola foram atribuídas às classes de cobertura da terra 'Pasto/Gramíneas', ou 'Solo exposto', dependendo do estádio da cultura.

3.2.2.1.3 Pré-processamento

As imagens obtidas junto a USGS estavam com a projeção/datum "WGS1984 UTM Zone 23 N", fazendo-se necessário reprojetá-las para o Hemisfério Sul – "WGS1984 UTM Zone 23 S". Após a reprojeção foi realizado o recorte das imagens de acordo com a área de estudo[1].

A topografia do terreno pode causar efeitos indesejados na classificação de imagens de sensoriamento remoto, especialmente em regiões com relevo montanhoso (VANONCKELEN et al., 2013), como a área de estudo deste trabalho. Os efeitos topográficos são causados pelas diferentes condições de iluminação devido a posição solar

[1] Os pré-processamentos foram realizados no ambiente aberto de computação estatística *R* (R Core Team, 2015).

Tabela 3.3 - Tipologia das classes de uso e cobertura da terra utilizadas no mapeamento da APA-MRPS.

Amostra	Classe	Descrição	Padrão LCCS
	Água	Reservatórios e rios;	Presença mandatória e exclusiva de corpos d'água;
	Área construída	Coberturas artificiais como ruas pavimentadas, telhados e calçamentos;	Presença opcional de construções (0-100%), e de rodovias (0-100%);
	Solo exposto	Áreas predominantemente cobertas por solo exposto. Podem estar associadas à processos erosivos, áreas queimadas recentemente, obras de terraplanagem, e/ou áreas de culturas florestais ou agrícolas dependendo da fase da cultura;	Presença mandatória de solo exposto com cobertura entre 51-100%. Presença opcional de gramíneas com cobertura entre 0-49%;
	Floresta	Áreas com vegetação predominantemente arbórea. Remanescentes de vegetação natural;	Presença mandatória de árvores com cobertura entre 70-100%. Presença opcional de arbustos com cobertura entre 0-30%;
	Herbáceo/ Arbórea	Vegetação predominantemente arbustiva e arbórea. Podem se associar à áreas que encontram-se em processo de regeneração da vegetação nativa e pastos abandonados;	Presença mandatória de arbustos com cobertura entre 70-100%. Presença opcional de árvores com cobertura entre 0-30%;
	Pasto/ Gramíneas	Áreas que predominam vegetações gramíneas, podendo estar associadas ou não ao uso agrícola, e/ou pecuário;	Presença mandatória de gramíneas com cobertura entre 51-100%. Presença opcional de solo exposto com cobertura entre 0-49%;
	Mineração	Áreas com uso destinado à extração mineral, inclusive os poços de rejeitos. Dentre as coberturas associadas predominam solo exposto, rochas e água;	Presença opcional de rochas expostas (0-100%), solo exposto (0-100%), construções (0-100%), corpos d'água (0-100%);
	Floresta monoespecífica	Áreas caracterizadas pelo plantio de uma única espécie florestal, como *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp. As coberturas são predominantemente arbóreas, mas apresentam talhões bem definidos, espaçamentos regulares, e mesma idade;	Presença mandatória de árvores com cobertura entre 80-100%. Presença opcional de solo exposto com cobertura entre 0-20%;
	Rochas	Afloramentos rochosos que ocorrem nas cumeadas da Serra da Mantiqueira;	Presença mandatória de rochas expostas com cobertura entre 70-100%. Presença opcional de gramíneas com cobertura entre 0-30%.
	Não observado	Abrangem áreas que não foram observadas devido a cobertura por nuvens e/ou suas respectivas sombras;	Presença mandatória de nuvens e/ou suas respectivas sombras 0-100%.

no momento da aquisição da imagem, e resultam em variações no comportamento espectral de alvos similares (COLBY, 1991; VERAVERBEKE et al., 2010; HANTSON; CHUVIECO, 2011). Para correção das variações de iluminação, ou *correção topográfica*, utilizou-se neste trabalho a técnica de razões de bandas (COLBY, 1991), que considera que a distorção na resposta espectral está presente da mesma maneira em todas as bandas, e assim o quociente entre essas compensam os efeitos da topografia. Foram geradas razões de todas as combinações de bandas espectrais possíveis, e dois índices baseados em diferenças normalizadas, descritos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Índices por diferença normalizada utilizados como correção topográfica

Índice	Fórmula
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$\frac{NIR - Vermelho}{NIR + Vermelho}$
Índice de Queimada por Diferença Normalizada (NBR)	$\frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$

Fonte: Produzido pelo autor.

Em certas áreas e datas não foi possível adquirir imagens completamente livres de nuvens. Nestas imagens, as nuvens, bem como as suas sombras, foram previamente classificadas como 'Não-observado' de maneira manual.

3.2.2.1.4 Classificação das imagens

A análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA – do inglês *Geographic Object-Based Image Analysis*) foi a abordagem de processamento digital de imagens utilizada para mapear o uso e cobertura da terra na APA-MRPS[2]. A GEOBIA parte do pressuposto de que os alvos possuem características associadas ao comportamento espectral, à forma, à textura, às relações contextuais e semânticas, que podem ser utilizadas para a análise de imagens, aproximando-se dos processos cognitivos humanos de interpretação de imagens (BLASCHKE, 2010; HAY; CASTILLA, 2008). A técnica baseia-se em dois procedimentos metodológicos: *a*) *segmentação e extração de atributos* e *b*) *classificação baseada em regras de decisão*.

Na análise baseada em objetos, o modelo de conhecimento é expresso por uma *rede semântica*, de forma que cada classe obedece níveis hierárquicos associados aos objetos por elas representados na imagem. Redes semânticas são grafos que

[2]A classificação das imagens por GEOBIA foi realizada no *software* eCognition 9 (TRIMBLE, 2014)

formalizam e representam o conhecimento humano por meio de um conjunto de vértices conectados entre si (FRANCISCO; ALMEIDA, 2012). A rede semântica foi definida baseada em uma estratégia de classificação, considerando o comportamento espectral dos alvos conforme o esquema hierárquico entre as classes apresentado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Rede semântica entre as classes e os níveis de segmentação e classificação.

Fonte: Produzido pelo autor.

A figura ilustra a rede semântica e os níveis de segmentação e classificação adotados como estratégia de classificação. Inicialmente, o *Nível 1*, teve como objetivo separar a imagem inteira (área de estudo) entre as super-classes 'Vegetação' e 'Não-vegetação', e a classe 'Água'. O *Nível 2*, buscou distinguir a super-classe 'Vegetação' entre as classes 'Pasto/gramíneas', 'Herbáceo/arbórea' e a super-classe 'Floresta'. No *Nível 3*, a super-classe 'Floresta' foi dividida entre as classes 'Floresta' e 'Floresta monoespecífica'. Por fim, no *Nível 4*, a super-classe 'Não-vegetação' foi dividida entre as classes 'Área construída', 'Solo exposto', 'Mineração' ou 'Rochas', atingindo assim o nível final de classificação. É importante observar a relação de hierarquia entre as classes e suas respectivas super-classes – e.g. as classes 'Pasto/gramíneas', 'Herbáceo/arbórea', 'Floresta' e 'Floresta monoespecífica' herdam todas as regras de decisão de sua super-classe Vegetação.

A *segmentação* consiste em subdividir a imagem inteira em *objetos* menores que a compõem (GONZALEZ; WOODS, 2010). Utilizou-se o algoritmo de segmentação Multirresolução baseado em Baatz e Schäpe (2000) que é uma abordagem de crescimento de regiões, ou seja, um procedimento que agrupa os *pixels* ou as sub-regiões em regiões maiores a partir de critérios de similaridade predefinidos para o crescimento (GONZALEZ; WOODS, 2010).

No processo de segmentação, não existem parâmetros que se adequem perfeitamente a todos os tipos de coberturas da terra. A fim de obter objetos ótimos para cada uma das classes de interesse, utilizou-se quatro iterações de segmentação e classificação, cada iteração foi chamada de nível de classificação. Assim, foi possível adotar diferentes parâmetros de segmentação em função dos alvos que se desejava separar em cada nível.

Diversas segmentações foram experimentadas em cada um dos níveis a fim de encontrar os parâmetros mais apropriados. As segmentações foram analisadas visualmente, conforme recomendado por Baatz e Schäpe (2000), e escolhidas tendo como critério criar segmentos na imagem que representassem de forma acurada as características da classe de interesse naquele nível. Os objetos deveriam ser tão grandes quanto possível (para obter os contornos dos objeto), mas tão pequenos quanto necessário (de modo a não unir objetos de diferentes classes). Os parâmetros da segmentação em cada um dos níveis estão na Tabela 3.5. Os parâmetros escolhidos para cada nível foram os mesmos utilizados para todas as datas.

Tabela 3.5 - Parâmetros da segmentação multirresolução utilizados em cada nível.

Nível	Domínio	Imagens - Peso	Escala	Forma	Compacidade
1	Pixel /Área de estudo	NIR - 1 Azul/Verde - 1 Azul/Vermelho - 1 Azul/NIR -1 Azul/SWIR - 1 Azul/SWIR 2 - 1 Verde/Vermelho - 1 Verde/NIR - 1 Verde/SWIR - 1 Verde/SWIR 2 - 1 Vermelho/NIR - 1 Vermelho/SWIR - 1 Vermelho/SWIR2 - 1 NIR/SWIR - 1 NIR/SWIR 2 - 1 SWIR/SWIR2 - 1 NDVI - 1 NBR - 1	56	0,10	0,40
2	Objeto/‘Vegetação’		32	0,10	0,10
3	Objeto/‘Floresta’ (genérica)		36	0,10	0,10
4	Objeto/‘Não-vegetação’		12	0,35	0,50

Fonte: Produzido pelo autor.

Uma vez definidos os objetos que compõem a imagem, diversos *atributos* – propriedades que caracterizam os objetos – foram obtidos. Estes atributos serviram de base

de informações para formular regras de decisão para a classificação. Diversos atributos espectrais, de forma, textura, contexto, bem como atributos complementares, como a altitude e declividade médias, foram calculados para cada objeto criado.

Na análise baseada em objetos, é crucial que se encontre os atributos que permitam distinguir os objetos entre as classes de interesse, e seus respectivos limiares ideais. A escolha dos atributos e limiares foi feita de maneira empírica, testando os atributos baseando-se no conhecimento prévio do intérprete sobre o comportamento espectral dos alvos. A Tabela 3.6 apresenta uma descrição dos atributos utilizados na classificação, e a Tabela 3.7 as regras de decisão utilizadas para classificação de cada uma das classes e super-classes.

Inicialmente, no **Nível 1**, trabalhou-se classes genéricas. As imagens, ainda sem objetos, foram segmentadas. Em seguida todos os objetos foram classificados como a classe 'Água', ou as super-classes 'Vegetação' ou 'Não-vegetação'. A classe 'Água', apresentou confusões com as sombras nas encostas da Serra da Mantiqueira, e também com a classe 'Solo exposto', no caso do objeto ter sido submetido a queimadas recentes. Para contornar estas confusões, utilizou-se funções de pertinência *fuzzy* (LI et al., 2015; PINHO et al., 2012; OLDELAND et al., 2010) e um número maior de atributos para caracterizar esta classe. Posteriormente, utilizou-se a ferramenta de redimensionamento do objeto baseado no pixel (*pixel-based object resizing*), fazendo com que *pixels* onde $NIR < 1424$ e que eram vizinhos a objetos da classe 'Água' fossem mesclados a estes. Ou seja, adotou-se uma classificação restritiva para eliminar erros de comissão. Na sequência, os objetos classificados como 'Água' foram expandidos obedecendo um novo critério mais abrangente, incluindo regiões de água que seriam omitidas, principalmente nos arredores dos reservatórios. O último passo do Nível 1 foi mesclar (*merge*) objetos adjacentes da mesma classe.

No **Nível 2**, apenas os objetos classificados como a super-classe 'Vegetação' no nível anterior foram re-segmentados e classificados utilizando as regras das classes 'Gramíneas/pasto', 'Herbáceo/arbórea' e da super-classe 'Floresta (genérica)'. Após a classificação, objetos adjacentes da mesma classe foram unidos (*merge*).

No **Nível 3**, o domínio de classe que se trabalhou foi da super-classe 'Floresta'. Os objetos foram segmentados e classificados entre 'Floresta' e 'Floresta monoespecífica' utilizando uma regra de decisão. Apesar da regra de decisão utilizada para separar essas classes ter apresentado bons resultados, alguns refinamentos manuais foram necessários. Para o refinamento manual, além da interpretação visual das imagens Landsat, utilizaram-se imagens de alta resolução dos sensores orbitais da *Digital*

Tabela 3.6 - Descrição dos atributos utilizados na classificação.

Atributo	Fórmula	Descrição	Referência
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI	$\frac{NIR - Vermelho}{NIR + Vermelho}$	Índice amplamente utilizado em diversos estudos sobre a vegetação. Varia entre -1 e 1. Valores mais altos estão relacionados às áreas com maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, onde a banda de maior reflectância localiza-se no NIR e a de maior absorção no vermelho. Foi utilizado em diversos momentos para separar as classes de vegetação;	Rouse Jr. et al. (1973)
Índice de Área Construída por Diferença Normalizada – NDBI	$\frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$	Conhecido por destacar áreas construídas. Entretanto, mostrou-se útil para distinguir entre 'Floresta' e 'Floresta monoespecífica'. 'Floresta monoespecífica' apresentou valores mais baixos em relação à 'Floresta';	Zha et al. (2003)
NIR		Utilizada definir os limites entre o solo e a água.	
Azul/NIR	$\frac{Azul}{NIR}$	Razão de bandas utilizada evitar a comissão de objetos pouco iluminados (sombras) à classe 'Àgua'. Esta razão realça regiões de água, que geralmente possui a maior reflectância no azul e maior absorção nos comprimentos de onda mais longos, enquanto regiões sombreadas apresentam baixa reflectância em ambas as bandas;	
Vermelho/SWIR	$\frac{Vermelho}{SWIR}$	Razão de bandas utilizada para realçar e separar a classe 'Água' de 'Solo exposto' com queimadas recentes.	
Altitude média		Proveniente do SRTM. Utilizado para classificar coberturas de 'Rochas' nas cumeadas da Serra da Mantiqueira, ou seja, em regiões de altitudes elevadas.	
Declividade média		Declividade em graus, calculada a partir do MDE. Utilizada para auxiliar na identificação da classe 'Água', que tendem a apresentar baixas declividades;	Zevenbergen e Thorne (1987)

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 3.7 - Conjunto de atributos, funções de pertinência e respectivos limiares utilizados para estabelecer as regras de decisão e discriminar as classes de interesse.

Classe	Atributo	Função de pertinência
Água	Declividade	0.7, 0.3; 0, 90
	Vermelho/SWIR	1, 0; 9160, 17840
	Blue/NIR	1, 0; 620, 750
	NIR	1, 0; 1380, 2170
Vegetação	NDVI	1, 0; 4660
Floresta (abstrata)	NDVI	1, 0; 7692
Floresta monoespecífica	NDBI	1, 0; -3834
Floresta	≠ ‘Floresta monoespecífica’	
Pasto/Gramíneas	NDVI	1, 0; 6685
Herbáceo/Arbórea	≠ ‘Pasto/Gramíneas’ e ‘Floresta (abstrata)’	
Não-vegetação	≠ ‘Vegetação’ e ‘Água’	
Área construída	Interpretação visual	
Mineração	Interpretação visual	
Solo exposto	≠ ‘Área construída’ e ‘Mineração’	
Rochas	Altitude	1, 0; 1260

Fonte: Produzido pelo autor.

Globe disponível aplicativo no *Google Earth* para o período entre 2000 e 2015. Após a classificação, utilizou-se a ferramenta de crescimento de regiões (*grow region*), que fez com que objetos onde $NIR < 1174$ e $Declividade > 34$ fossem classificados com a classe vizinha majoritária, fazendo com que as sombras presentes nas regiões de maior declividade da Serra da Mantiqueira fossem associadas principalmente à

classe 'Floresta'. Por fim, objetos adjacentes da mesma classe foram unidos (*merge*).

No **Nível 4**, objetos da classe 'Não-vegetação' foram segmentados. As classes 'Área construída' e 'Mineração' foram classificadas manualmente por interpretação visual, de modo a aumentar a acurácia do mapeamento, uma vez que os alvos associados às classes filhas da super-classe 'Não-vegetação' apresentam muita confusão, especialmente utilizando imagens Landsat (HEROLD et al., 2004). Isso se deve à origem comum do material que os constitui – minerais – (LI; CHEN, 2014; WAQAR et al., 2012; PINHO et al., 2012; THOMAS et al., 2003); à diversidade de alvos presentes em ambientes urbanos, que dificultam prever um comportamento espectral; e às resoluções espectral (HEROLD et al., 2004) e espacial das imagens Landsat, inadequadas para este fim. Foram, novamente, utilizadas imagens dos sensores de alta resolução da *Digital Globe*, dísponível no *Google Earth* para o período entre 2000 e 2015, para auxiliar na interpretação visual. Após a classificação manual, os objetos da super-classe 'Não-vegetação' restantes foram classificados entre 'Rochas' e 'Solo exposto' utilizando a altitude para diferenciá-las. Objetos vizinhos da mesma classe foram novamente unidos.

3.2.2.1.5 Validação

A *avaliação da acurácia*, ou *validação*, é uma etapa chave para qualquer mapeamento de uso e cobertura da terra, especialmente pela *a*) necessidade de verificar a eficiência de uma metodologia e identificar quais são os erros; *b*) possibilidade de comparar métodos quantitativamente; e *c*) capacidade de utilizar o mapeamento para a tomada de decisões (CONGALTON, 2001).

O elemento chave para avaliar a acurácia da classificação é a criação de uma *matriz de confusão*, que consiste em comparar o mapa a ser avaliado com uma referência, considerada como verdade. Trata-se de uma matriz quadrada cujos valores representam o número de amostras atribuídas a cada classe em relação à referência. As colunas representam a referência e as linhas a classificação obtida (CONGALTON, 1983).

Congalton (1991) sugere que a verificação dos pontos de validação seja realizada utilizando um conjunto de dados independentes, pois classificar e avaliar sobre o mesmo conjunto de dados pode resultar em uma sobre-estimativa da acurácia da classificação. Entretanto não se dispunha de outra fonte de dados sobre o uso e cobertura da terra que compreendesse todas as datas analisadas. Para evitar de se utilizar as mesmas imagens para ambas etapas, a tarefa de interpretar e classificar os

Tabela 3.8 - Detalhamento do processo de classificação nos quatro níveis hierárquicos.

Nível	Composição R5 G6 B4 (OLI)	Segmentação	Classificação	Classe
Nível 1 Classes genéricas				Vegetação Não-vegetação Água
Nível 2 Vegetação				Floresta (genérica) Herbáceo/Arbórea Pasto/Gramíneas
Nível 3 Florestas				Floresta Floresta monoespecífica
Nível 4 Não-vegetação				Área construída Solo exposto Mineração Rochas

Fonte: Produzido pelo autor.

pontos de validação com base nas mesmas imagens utilizadas para a classificação foi delegada a outros três especialistas em sensoriamento remoto. A classe selecionada com maior frequência pelos intérpretes (moda) foi adotada como referência para a elaboração da matriz de confusão.

A avaliação da qualidade do resultado das classificações foi realizada da seguinte forma:

a) Elaboração de um conjunto amostral aleatório tomando o *pixel* como unidade amostral. Foram gerados 250 pontos estratificados por classe – proporcionalmente a área das classes no mapeamento da primeira data (1985). Considerou-se ainda um número mínimo de 10 pontos por classe, a fim de viabilizar também a avaliação das classes menos predominantes;

Tabela 3.9 - Matriz de confusão do ano de 1985.

Mapeamento		Referência 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Erro de comissão (%)
1	Água	18									18	0,0
2	Área construída		10							1	11	9,1
3	Floresta			40	2	1					43	7,0
4	Floresta monoespecífica			2	9	1					12	25,0
5	Herbáceo/Arbórea			5	1	14		1			21	33,3
6	Mineração						9				9	0,0
7	Pasto/Gramíneas		1	6		17		62	1	1	88	29,5
8	Rochas							1	3		4	25,0
9	Solo exposto		1					2		13	16	18,8
	Total	18	12	53	12	33	9	66	4	15	222	Exatidão global = 80,2%
	Erro de omissão (%)	0,0	16,7	24,5	25,0	57,6	0,0	6,1	25,0	13,3		Kappa = 0,75

Acerto 100% 0% 100% Erro

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 3.10 - Matriz de confusão do ano de 1991.

Mapeamento		Referência 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Erro de comissão (%)
1	Água	13									13	0.0
2	Área construída		15								15	0,0
3	Floresta			33	3	2		1			39	15,4
4	Floresta monoespecífica			1	12	1					14	14,3
5	Herbáceo/Arbórea			5		18		3			26	30,8
6	Mineração						8				8	0.0
7	Pasto/Gramíneas		1	6		14		69	1	2	93	25,8
8	Rochas							1	3		4	25,0
9	Solo exposto		1					1		8	10	20,0
	Total	13	17	45	15	35	8	75	4	10	222	Exatidão global = 78,4%
	Erro de omissão (%)	0,0	11,8	26,7	20,0	48,6	0,0	8,0	25,0	20,0		Kappa = 0,75

Acerto 100% 0% 100% Erro

Fonte: Produzido pelo autor.

b) Interpretação visual das amostras pelos especialistas, descartando as que geraram dúvidas ao atribuir uma classe;

c) Elaboração da matriz de confusão; e

d) Cálculo das medidas de exatidão global e do coeficiente *Kappa*.

As Tabelas de 3.9 a 3.13 apresentam as matrizes de confusão e estatísticas gerais de validação dos mapeamentos.

Tabela 3.11 - Matriz de confusão do ano de 2000

Mapeamento		Referência 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Erro de comissão (%)
1	Água	12									12	0,0
2	Área construída		14							2	16	12,5
3	Floresta			46	5	3					54	14,8
4	Floresta monoespecífica			1	8						9	11,1
5	Herbáceo/Arbórea			4	5	16		2			27	40,7
6	Mineração						8				8	0,0
7	Pasto/Gramíneas			2	1	11		62	1	1	78	20,5
8	Rochas							1	3		4	25,0
9	Solo exposto		2			1		6		5	14	64,3
	Total	12	16	532	19	31	8	71	4	8	200	Exatidão global = 78,4%
	Erro de omissão (%)	0,0	12,5	13,2	57,9	48,4	0,0	12,7	25,0	37,5		Kappa = 0,73

Acerto 100% 0% 100% Erro

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 3.12 - Matriz de confusão do ano de 2010

Mapeamento		Referência 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Erro de comissão (%)
1	Água	13									13	0,0
2	Área construída		13					3		1	17	23,5
3	Floresta			50	5	4					59	15,3
4	Floresta monoespecífica			3	12	1					16	25,5
5	Herbáceo/Arbórea			3	3	8		1			15	46,7
6	Mineração						8				8	0,0
7	Pasto/Gramíneas			1	3	12		54		2	72	25,0
8	Rochas							1	3		4	25,0
9	Solo exposto		2		1	1		5	1	8	18	55,6
	Total	13	15	57	24	26	8	64	4	11	222	Exatidão global = 76,1%
	Erro de omissão (%)	0,0	13,3	12,3	50,0	69,2	0,0	15,6	25,0	27,3		Kappa = 0,70

Acerto 100% 0% 100% Erro

Fonte: Produzido pelo autor.

De maneira geral, a metodologia empregada resultou em mapeamentos com acurácias semelhantes. A *exatidão global* para os anos de 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015 foram respectivamente de 80,2%; 78,4%; 78,4%; 76,1%; e 80,6%. O coeficiente *Kappa* variou entre 0,70 em 2010 e 0,77 em 2015.

Pode-se observar que as confusões mais frequentes se repetem nos mapeamentos para as diferentes datas. A classe que apresentou maior confusão foi 'Herbáceo/Arbórea' com 'Pasto/gramíneas' (principalmente erros de omissão), e em menor medida com as demais classes de vegetação. Segundo Congalton (2001), a uti-

Tabela 3.13 - Matriz de confusão do ano de 2015

Mapeamento		Referência 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Erro de comissão (%)
1	Água	12									12	0,0
2	Área construída		14					2		1	17	17,6
3	Floresta			58	7	4					69	15,9
4	Floresta monoespecífica			2	20						22	9,1
5	Herbáceo/Arbórea			3	3	18		1			25	28,0
6	Mineração						9				9	0,0
7	Pasto/Gramíneas		1			5		35	1	1	43	18,6
8	Rochas							1	3		4	25,0
9	Solo exposto		2			1		8		10	21	52,4
	Total	12	17	63	30	28	9	47	4	12	222	Exatidão global = 80,6%
	Erro de omissão (%)	0,0	17,6	7,9	33,3	35,7	0,0	25,5	25,0	16,7		Kappa = 0,77

Acerto 100% 0% 100% Erro

Fonte: Produzido pelo autor.

lização de classes muito semelhantes (representando subtipos) pode induzir a um excesso de confusões que certamente prejudicarão a avaliação da classificação. A classe 'Herbáceo/Arbórea' representa um subtipo de vegetação, que é intermediária entre 'Pasto/gramíneas' e vegetações densas como as classes 'Florestas' e 'Florestas monoespecíficas', gerando certa confusão com estas.

Outras classes que apresentaram confusão foram 'Solo exposto' e 'Pasto/gramíneas'. Em diversas regiões, as duas coberturas estão presentes, e como em áreas cobertas por vegetação de gramínea esparsa o solo também fica exposto, os comportamentos espectrais das duas classes se assemelham.

As classes 'Florestas' e 'Florestas monoespecíficas' também apresentaram confusões, mesmo após o refinamento manual da classe 'Florestas monoespecíficas'. Ambas as classes constituem-se de vegetação arbórea densa, sem contribuição do solo, e portanto com diferenças sutis de comportamento espectral, dificultando a separabilidade.

Considerando que as classes que apresentaram confusão são, em geral, similares – *e.g.* entre tipos de vegetação, ou entre coberturas minerais – e que os dados de uso e cobertura da terra serão uniformizados em células de $200 \times 200\,m$, tais erros de classificação impactarão pouco a estabilidade dos indicadores ecológicos.

3.2.2.2 Indicadores da Dimensão Ecológica

Os indicadores da dimensão ecológica refletem a importância das classes de uso e cobertura da terra para a conservação dos recursos hídricos, e são traduzidas por métricas obtidas a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra, calculadas para unidades de área regulares de $200 \times 200\,m$ (células).

As métricas correspondem às proporções das classes mapeadas. Cada classe possui uma importância associada às suas relações com a proteção dos mananciais superficiais, conforme discutido e apresentado na revisão de literatura na Seção 2.5 e sintetizada na Tabela 3.14. A importância de cada classe foi traduzida em valores através da técnica de comparação pareada AHP (Processo Analítico Hierárquico)[3] (SAATY, 1977). As classes foram comparadas duas-a-duas, e um critério de importância relativa foi atribuído ao relacionamento entre as classes. Assim, foi possível determinar e justificar um conjunto ótimo de pesos a ser utilizado para a ponderação das classes e composição do indicador sintético da dimensão Ecológica. A Tabela 3.15 apresenta o relatório da AHP com os valores de importância relativa entre cada uma das classes, a prioridade (peso) estabelecida, e a razão de consistência, que é considerada aceitável quando menor que 10%. A classe que apresentou maior importância foi 'Floresta', seguido das classes de vegetação 'Árbórea/Herbácea', 'Florestas monoespecíficas' e 'Pasto/Gramíneas', e em seguida as classes 'Solo exposto', 'Áreas construídas' e 'Mineração'.

[3]Do inglês *Analytic Hierarchycal Process*

Tabela 3.14 - Indicadores representantes da Dimensão Ecológica do iSAM.

Indicador	Descrição	Justificativa
%Floresta '*p_flor*'	Percentual da classe 'Floresta' na célula;	Florestas possuem maior potencial em fornecer serviços ecossistêmicos, e sua conservação implica na proteção direta dos mananciais hídricos da bacia. As 'Florestas' contribuem para *a*) o processo de infiltração de água no solo, *b*) a proteção do solo, evitando processos erosivos e, reduzindo a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais, *c*) proteção ripária, *d*) melhoria da qualidade da água, *e*) regulação do fluxo de água, e *f*) produção de água, pois alimentam os corpos d'água em períodos de estiagem (TUCCI; MENDES, 2006; LIMA et al., 2013). Além disso, as áreas de 'Floresta' possuem maior biodiversidade. Sua remoção implica na fragmentação de habitats, a extinção de espécies da fauna e da flora, a interferência nos fluxos e processos biológicos e de polinização, dentre outros danos à biodiversidade (NAGENDRA et al., 2013).

(Continua)

Tabela 3.14 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Floresta monoespecífica '*p_fmono*'	Percentual da classe 'Floresta monoespecífica' na célula;	Apesar de não serem tão eficientes em proteger os mananciais quanto a floresta natural, a floresta plantada apresenta vantagens em relação à coberturas de vegetação com menor porte, como áreas de 'Pasto/Gramíneas' ou 'Solo exposto'. As florestas plantadas contribuem para o processo de infiltração de água no solo e proteção do solo, evitando processos erosivos e, reduzindo a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais, (LIMA, 2010). Em etapas do manejo florestal, como o corte raso da floresta plantada (colheita), podem ocorrer aumentos na concentração de sedimentos em suspensão nos mananciais, perdas de solo e nutrientes, que são prejudiciais à qualidade da água (STOTT et al., 2001; PENNINGTON; LAFFAN, 2004). Além disso, em paisagens onde a floresta é a cobertura da terra natural, como a BHPS, florestas plantadas em áreas onde a floresta natural foi removida pode ajudar a conservação da biodiversidade, fornecendo habitat da floresta complementar e aumentando a conectividade entre fragmentos (BROCKERHOFF et al., 2008).

(Continua)

Tabela 3.14 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Herbáceo/Arbórea '*p_herb*'	Percentual da classe 'Herbáceo/Arbórea' na célula;	A classe 'Herbáceo/Arbórea', presente na área de estudo, está relacionada a áreas desmatadas subutilizadas onde a floresta está se regenerando. Essas áreas tem o seu potencial de oferecer serviços ecossistêmicos reduzidos em relação às florestas, por ainda não apresentarem características importantes, como estrutura, copa, sub-bosque e serrapilheira (LIMA et al., 2013). Mesmo assim, em menor grau, a classe 'Herbáceo/Arbórea' apresenta as mesmas vantagens que as 'Florestas' em relação à classes com cobertura vegetal de menor porte ou não vegetada. Além disso, as áreas de 'Herbáceo/Arbórea' são predecessoras das 'Florestas', o que indica que futuramente aquela área terá maior potencial de oferecer tais serviços ecossistêmicos.
%Pasto/Gramíneas '*p_grama*'	Percentual da classe 'Pasto/Gramíneas' na célula;	Uma vez removida a cobertura florestal natural, perdem-se os serviços ecossistêmicos prestados. A vegetação de gramíneas contribui, mas de maneira bem reduzida, para proteção do solo e infiltração de água na terra. Apresenta vantagens para a proteção dos mananciais, apenas quando comparada à classes de 'Não-vegetação'. Além disso, a cobertura está associada ao uso agropecuário. Na pecuária, o pisoteio animal nas margens de corpos d'água podem causar compactação do solo e desencadear processos erosivos. As atividades agrícolas fazem uso frequente de substância químicas como pesticidas, herbicidas, fertilizantes e resíduos animais visando aumentar a produtividade agrícola, que, se manejados de maneira inadequada, podem contaminar os mananciais (ALLAN, 2004).

(Continua)

Tabela 3.14 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Solo exposto '*p_solo*'	Percentual da classe 'Solo exposto' na célula;	As áreas de solo exposto estão associadas a processos erosivos já em curso ou vegetação de gramíneas esparsa. Nestas regiões o solo é altamente impermeabilizado, favorecendo o escoamento superficial, e contribuindo para a ocorrência/agravamento de processos erosivos e, consequentemente, aumentar a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais.
%Mineração '*p_miner*'	Percentual da classe 'Mineração' na célula;	Em regiões de mineração o solo é altamente impermeabilizado, favorecendo o escoamento superficial, e contribuindo para a ocorrência de processos erosivos e, consequentemente, aumento a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais. Atividades mineradoras podem provocar danos graves aos mananciais. A água em contato com rochas mineralizadas pode ser contaminada por metais pesados e, por isso, as atividades de extração mineral representam uma fonte de alto potencial poluidor de águas subterrâneas e superficiais (WENDLAND; MARIN, 2013). Existem também riscos inerentes à operação das minerações, como vazamento de rejeitos.

(Continua)

Tabela 3.14 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Área construída '*p_const*'	Percentual da classe 'Área construída' na célula;	Em áreas urbanas o solo é impermeabilizado com edificações e pavimentos, e a água é conduzida através das galerias de águas pluviais. Estas mudanças na cobertura da terra impactam o ciclo hidrológico: *a*) reduzindo a infiltração no solo; *b*) reduzindo o escoamento subterrâneo; *c*) aumentando a capacidade de escoamento superficial por meio de condutos, canais e impermeabilização da superfície, ocasionando aumentos nas vazões médias dos corpos hídricos; e *d*) produzindo e transportando sedimentos provocando assoreamento dos corpos d'água e transporte de poluente agregado ao sedimento, o que contamina as águas fluviais (TUCCI; MENDES, 2006). Ademais, os resíduos sólidos e efluentes, domésticos e industriais, produzidos em áreas urbanas são fontes potenciais de poluição dos mananciais, caso sejam dispostos de maneira inadequada.

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 3.15 - Relatório do Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicado às classes de uso e cobertura da terra.

Classes	Matriz de decisão							Prioridade
	1	2	3	4	5	6	7	
1 - Floresta	**1**	3	4	5	7	8	9	40,3 %
2 - Arbórea / Herbácea	0.33	**1**	2	4	6	7	8	23,9 %
3 - Floresta monoespecífica	0.25	0.50	**1**	2	4	5	7	14,6 %
4 - Gramíneas	0.20	0.25	0.50	**1**	3	4	6	9,8 %
5 - Solo exposto	0.14	0.17	0.25	0.33	**1**	3	5	5,7 %
6 - Área construída	0.12	0.14	0.20	0.25	0.33	**1**	4	3,6 %
7 - Mineração	0.11	0.12	0.14	0.17	0.20	0.25	**1**	2,0 %

Número de comparações: 21. Razão de consistência = 7.4%

Fonte: Produzido pelo autor.

Cada uma das classes de uso e cobertura da terra foram comparadas par a par, obedecendo à seguinte escala de valores: (1) Mesma importância; (2/3) - Importância moderada; (4/5) Importância forte, (6/7) Importância muito forte, (8/9) Importância extrema (SAATY, 1977). Os resultados das comparações par a par deram origem a matriz de decisão acima. O autovetor direito dominante da matriz normalizado resulta nas prioridades (pesos), e o auto valor determina a razão de consistência.

3.2.3 Dimensões social e econômica

3.2.3.1 Dados populacionais

Geralmente, o levantamento *in situ* de dados sobre as populações humanas inseridas em UCs são inviabilizados pela falta de recursos, tempo e complexidade metodológica. A maioria dos estudos de populações inseridas em áreas protegidas e entorno, é feita a partir de dados secundários. No Brasil, a principal – e na maioria das vezes a única – fonte de dados sobre a população humana passíveis de serem analisados em espaços geográficos reduzidos, parcialmente adequados aos limites de uma UC, é o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que reúne informações sobre a população brasileira em um intervalo de dez em dez anos (SOUZA, 2004).

Sendo assim, utilizou-se o conjunto de dados do universo dos Censos Demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2010) para compor os indicadores das dimensões social e econômica. Esta escolha se justifica também pelo fato dos dados do universo do Censo serem publicados agrupados por setor censitário, definidos como as menores unidades territoriais de controle cadastral da coleta, constituída por áreas contíguas, respeitando-se os limites da divisão político-administrativa, do quadro urbano e rural legal, com suas dimensões adequadas à operação de coleta (IBGE, 2010). Todavia,

esta unidade espacial não considera a maneira como a população se distribui espacialmente, e nem os limites administrativos das UCs. Os setores censitários rurais, que compõem a maior parte do território das unidades de conservação, abrangem uma área muito extensa, fazendo com que a escala espacial destes dados seja muito grosseira. Portanto, estudos que envolvam a população humana inserida em unidades de conservação ou em seu entorno requerem abordagens metodológicas para compatibilizar os recortes espaciais de interesse com aqueles dos dados demográficos disponíveis.

Outro conjunto de dados utilizado, exclusivo do censo de 2010 foi o Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE), que compreende os endereços de todas as unidades recenseadas em 2010 (domicílios e unidades não residenciais). Este dado foi utilizado para redistribuir os dados populacionais, procedimento que será descrito na Seção Redistribuição de dados populacionais.

Vale mencionar que concomitantemente à produção deste estudo, o IBGE publicou um novo produto do Censo Demográfico de 2010, que traz estimativas de população total ou por sexo e o total de domicílios tendo células como unidade espacial de referência: a Grade Estatística (IBGE, 2016). A grade divide o território em células de $200 \times 200m$ nas áreas urbanas e 1 x 1 km nas áreas rurais, permitindo agregar os dados independentemente das divisões político-administrativas. Este produto, porém, não foi utilizado nesta abordagem, pois, além de estarem disponíveis apenas para o Censo de 2010, as células em situação rural – predominantes na área de estudo – possuem resolução espacial incompatível para a análise pretendida.

3.2.3.1.1 Compatibilização da malha censitária de 2000 e 2010

Para a espacialização dos dados populacionais, foram utilizadas as malhas censitárias referentes aos censos de 2000 e 2010. A malha de 2000 apresentava uma série de inconsistências, como deslocamentos, incompatibilidade espacial entre os setores rurais e urbanos, e sobreposição de setores. Para o censo de 2010, a malha censitária digital passou por refinamentos com a utilização de imagens orbitais, e foi disponibilizada com um nível de qualidade superior à de 2000 (IBGE, 2010). Para corrigir os problemas na malha de 2000, e torná-la comparável com a de 2010, realizou-se sua reconstrução a partir de uma tabela de comparabilidade entre os setores dos dois censos, disponibilizada pelo IBGE. Esta tabela descreve como os setores do levantamento de 2010 foram formados a partir dos setores de 2000, permitindo reconstruir a malha de 2000 a partir da agregação de setores de 2010. A reconstrução baseada na agregação dos setores foi realizada em um Sistema de Informações Geográficas

(SIG).

3.2.3.2 Indicadores das dimensões Social e Econômica

Foram selecionados indicadores a partir do conjunto de dados do universo dos Censos Demográficos de 2000 e 2010[4], para representar as dimensões *Social* e *Econômica*. Como dito anteriormente, estes dados são agregados em setores censitários, e por consequência os indicadores também o são. As Tabelas 3.16 e 3.17 relacionam os indicadores selecionados e apresentam sua descrição e justificativa. Mais informações sobre os indicadores podem ser obtidas no fichamento apresentado no Apêndice A.

[4]Para mais informações sobre os conjuntos de dados do universo dos Censos Demográficos 2000 e 2010 consulte as documentações em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/

Tabela 3.16 - Indicadores representantes da Dimensão Social do iSAM.

Indicador	Descrição	Justificativa
%Alfabetizados (8-17a) '*alfa_8a17*'	Proporção de pessoas que declararam saber ler e escrever entre as pessoas com idade entre 8 e 17 anos;	Para se desenvolver de modo sustentável, é necessário tornar acessível a toda a população a educação básica, iniciada com a alfabetização. A alfabetização, bem como outros conhecimentos básicos adquiridos a partir do ensino básico, fornecem condições para que as pessoas tenham capacidade para processar informações, selecionando o que é relevante, e continuar aprendendo. Ademais, ampliam as possibilidades futuras, desses jovens, de inserção no mercado de trabalho (IBGE, 2015). A educação da população potencializa as chances de se implementar com sucesso as ações de manejo de uma UC como a APA-MRPS;
%Responsáveis alfabetizados '*resp_alfa*'	Proporção de pessoas responsáveis por domicílios que declararam saber ler e escrever;	A alfabetização entre os responsáveis amplia as possibilidades de acesso ao mercado de trabalho, e também as possibilidades de incentivar seus filhos à frequentar a escola (IBGE, 2015). A educação da população potencializa as chances de se implementar com sucesso as ações de manejo de uma UC como a APA-MRPS;

(Continua)

Tabela 3.16 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Pessoas acima da expectativa de vida (por gênero) '*exp_vida_H*' '*exp_vida_M*'	Proporção das pessoas com idade acima da expectativa média de vida ao nascer para a data de referência. Este indicador foi calculado estratificado por gênero, gerando dois indicadores. A expectativa média de vida ao nascer no estado de São Paulo era de 77 anos entre as mulheres e 67 anos entre os homens em 2000, e 79 anos entre as mulheres e 71 anos entre os homens em 2010;	A expectativa de vida ao nascer é o número médio de anos que um indivíduo viverá a partir do nascimento, considerando o nível e estrutura de mortalidade por idade observados naquela população. A existência de pessoas em idade superior à esperança de vida ao nascer média do estado de São Paulo sugere boas das condições de vida e de saúde da população em relação ao estado de maneira geral. Uma vez que existem grandes diferenças entre a expectativa média de vida entre homens e mulheres, bem como entre as diferentes regiões do país, considerou-se este indicador em coortes de gênero e utilizou-se a expectativa média do estado de São Paulo;
%Cobertura de abastecimento de água '*pess_agua*'	Média ponderada entre a proporção de pessoas que contam com abastecimento de água da rede geral (peso 2) e a proporção de pessoas com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade (peso 1);	Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). Acessibilidade à água de qualidade para consumo e em quantidade necessária para a higiene pessoal interrompem os ciclos de uma gama de doenças que se proliferam pela água ou pela falta dela (HELLER, 1998; United Nations, 2007). Nesse sentido, trata-se de um indicador indireto das condições de saúde da população;

(Continua)

Tabela 3.16 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Cobertura de coleta de lixo ‘*pess_lixo*’	Proporção de moradores de domicílios em que o lixo é coletado por serviço de limpeza ou caçamba de serviço de limpeza;	Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). Aliado às demais medidas de saneamento, a destinação adequada de resíduos sólidos constitui uma importante medida de prevenção de doenças, posto que os resíduos dispostos incorretamente tendem a obstruir drenagens de águas pluviais, causando enchentes e contaminando corpos hídricos, favorecendo a proliferação de doenças de veiculação hídrica. Também, está diretamente associada à proteção do ambiente, uma vez que a disposição inadequada dos resíduos pode favorecer a contaminação do solo e águas, e nesse sentido, poderia representar também a dimensão ecológica do sistema de indicadores;
%Cobertura de esgotamento sanitário ‘*pess_esgo*’	Proporção de moradores de domicílios em que o esgotamento sanitário é realizado de maneira adequada. Considerou-se igualmente adequado o esgotamento via rede geral de esgoto ou pluvial ou via fossa séptica.	Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). O tratamento de esgotos constitui um dos mais importantes meios de prevenção de doenças (HELLER, 1998). Além de terem forte influência na saúde e na qualidade de vida da população, os indicadores de cobertura de esgotamento sanitário e de coleta de lixo expressam pressões sobre os recursos naturais, especialmente os recursos hídricos, e nesse sentido, poderiam representar também a dimensão ecológica do sistema de indicadores.

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 3.17 - Indicadores representantes da Dimensão Econômica do iSAM.

Indicador	Descrição	Justificativa
Rendimento médio do responsável '*rend_resp*'	Rendimento mensal médio das pessoas responsáveis pelo domicílio, em salários mínimos. O salário mínimo era de R$ 151 em 2000, e R$ 510 em 2010.	O rendimento dos responsáveis indica a capacidade de cobertura do orçamento doméstico, bem como a capacidade de aquisição de bens e serviços;
%Domicílios próprios '*dpp_prop*'	Proporção de domicílios próprios;	A presença de domicílios próprios indica maior estabilidade econômica da população. É também um método alternativo de identificação do poder aquisitivo da população, pois geralmente está correlacionado à renda familiar (ANAZAWA, 2012; JANNUZZI, 2012);
Índice de Gini '*gini*'	O Índice de Gini foi calculado a partir de dados de renda dos responsáveis agregados em intervalos de classe. Consiste em um número entre 0 e 1, onde 0 corresponde à completa igualdade e 1 corresponde à completa desigualdade. O modelo de cálculo detalhado deste indicador, assim como dos demais, encontra-se no Apêndice A;	É importante avaliar não somente o valor absoluto do rendimento médio dos responsáveis, mas também esta se reparte e se um possível crescimento se traduz em melhoria da qualidade de vida da população. O índice de Gini é importante pela sua capacidade de mensuração das desigualdades sociais oriundas da apropriação diferenciada do rendimento pelos responsáveis (IBGE, 2015; JANNUZZI, 2012);

(Continua)

Tabela 3.17 – Continuação

Indicador	Descrição	Justificativa
%Responsáveis com rendimento acima de 1 SM (por gênero) '*trab_R_H*' '*trab_R_M*'	Corresponde ao quociente dos responsáveis com rendimento igual ou superior a um salário mínimo pelos que possuem rendimento positivo. Este indicador foi calculado estratificado por gênero, gerando dois indicadores;	O desemprego é um fator preponderante na determinação dos níveis de pobreza (IBGE, 2015). O indicador permite fazer uma análise sobre o acesso dos responsáveis por domicílios ao mercado de trabalho, que garante a geração de renda para a sobrevivência daquela família. Reflete a capacidade do sistema econômico em prover ocupação produtiva aos responsáveis por domicílios que a desejam. O indicador desagregado por sexo evidencia desigualdades de gênero no acesso ao mercado de trabalho, aspecto associado ao maior ou menor grau de democratização da sociedade e à existência de um mercado de trabalho capaz de se adaptar às mudanças sociais ao longo do tempo (IBGE, 2015);
Razão de dependência '*rz_depen*'	Razão entre o segmento etário da população definido como economicamente dependente (os menores de 15 anos de idade e os de 60 ou mais anos de idade) e o segmento etário potencialmente produtivo (entre 15 e 59 anos de idade);	Mede a participação relativa do contingente populacional potencialmente inativo, que deveria ser sustentado pela parcela da população potencialmente produtiva. Valores elevados indicam que a população em idade produtiva deve sustentar uma grande proporção de dependentes, o que significa consideráveis encargos assistenciais para a sociedade (IBGE, 2015).

Fonte: Produzido pelo autor.

A fim de verificar o grau de associação entre as estatísticas selecionadas, foram realizadas análises de correlação entre os indicadores simples, para a área de estudo, nos períodos analisados (Figura 3.5). Associações fortes foram encontradas apenas entre os indicadores '%Responsáveis com rendimento acima de 1 SM' para homens e para mulheres, com valores de correlação de 0,83 em 2000 e 0,80 em 2010. Ainda que correlacionados optou-se por mantê-los na análise para que fosse possível abordar as desigualdades de gênero. As demais associações foram de fracas a moderadas (<0,70).

3.2.3.2.1 Instabilidade em pequenas áreas e estimação dos indicadores

Ao analisar dados espaciais agregados por áreas, através, por exemplo, de um mapa coroplético, algumas áreas, eventualmente, se destacam por apresentar valores extremos daquele fenômeno, e tais regiões acabam por ser enfatizadas nesta análise. Entretanto, nem sempre aquela representação do fenômeno é confiável.

O setor censitário é a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, cujo conjunto esgota a totalidade do território nacional (IBGE, 2010). Os setores censitários possuem suas dimensões adequadas à operação de coleta, fazendo com que alguns dos setores tenham um pequeno volume populacional. Tal fato faz com que abordagens que utilizem esta unidade de análise enfrentem alguns problemas relacionados a instabilidade em pequenas áreas.

A *instabilidade em pequenas áreas* ocorre quando uma área possui uma pequena população em risco e um acréscimo ou decréscimo de poucos eventos do fenômeno estudado causam mudanças drásticas na estatística. Porém, estes valores extremos associadas a pequenas populações em risco não representam riscos extremos aos quais as populações estariam submetidas. Essas variações extremas não passam de meras flutuações aleatórias que atrapalham a análise do fenômeno em questão. Deve-se então, tentar separar o que é efeito do fenômeno estudado e o que é mera flutuação aleatória (DRUCK et al., 2004).

Uma maneira de verificar a dependência da variância dos indicadores sociais e econômicos ao tamanho da população, é através de gráficos de dispersão entre o indicador e a população em risco (Figura 3.6). Entre os indicadores sociais e econômicos selecionados, oito apresentaram indícios de instabilidade, pois quanto menor a população maior variância dos indicadores observados. Isso tende a produzir um efeito, denominado de "efeito funil", realçado por linhas pontilhadas.

Figura 3.5 - Análise de correlação entre os indicadores simples.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 3.6 - Gráficos de dispersão dos indicadores socioambientais e suas respectivas populações em risco.

Fonte: Produzido pelo autor.

Os gráficos de dispersão ilustram a instabilidade em pequenas áreas dos indicadores para as dimensões social e econômica em ambos os períodos analisados, compostos por dados agregados em setores censitários. Nos eixos y, estão os indicadores que se apresentaram instáveis, e nos eixos x as respectivas "populações em risco". As linhas tracejadas ilustram o "efeito funil", característico de instabilidade em pequenas áreas.

Algumas técnicas podem ser aplicadas para lidar com problemas de instabilidade em pequenas áreas, entre estas estão a agregação de áreas, média móvel espacial e estimadores bayesianos empíricos, local ou global. Utilizou-se o *estimador bayesiano empírico local* (MARSHALL, 1991), que utiliza informações dos setores vizinhos para diminuir esta instabilidade não associada ao risco de ocorrência do evento. Os indicadores corrigidos são menos instáveis, pois levam em conta no seu cálculo não só a informação da área, mas também a informação de sua vizinhança[5]. Além disso, o estimador faz com que regiões com populações muito pequenas tenham uma correção maior, e regiões populosas tenham pouca alteração em suas taxas.

3.2.3.2.2 Redistribuição de dados populacionais

A unidade espacial de referência em que os indicadores sociais e econômicos são agregados, o setor censitário, não considera a maneira como a população se distribui espacialmente, e nem os limites administrativos da APA-MRPS. Além disso, os setores censitários rurais, que compõem a maior parte do território da APA-MRPS, correspondem a grandes áreas, sugerindo homogeneidade em unidades espaciais muito extensas. Para vários setores rurais no mapeamento de uso e cobertura da terra realizado não foi possível mapear a classe 'Área construída', que poderia ser utilizada como indicadora de população humana residente.

Informações geográficas são capazes de descrever a heterogeneidade espacial e podem ser usadas para redistribuir a população dentro dos setores censitários (LINARD et al., 2011; AMARAL et al., 2012). Diversos trabalhos têm utilizado dados de sensoriamento remoto como fonte de informações espaciais para redistribuir dados agregados por área, como os setores censitários (LANGFORD; HARVEY, 2001; AMARAL, 2004; GAVLAK, 2011; LINARD et al., 2011; AMARAL et al., 2012; ANAZAWA, 2012). Entretanto, o mapeamento de uso e cobertura da terra realizado não foi capaz de localizar a população quando distribuída de maneira dispersa. Isso fez com que, em alguns setores censitários, não se tivesse áreas mapeadas com a classe 'Área construída' – associada à presença humana. Ou seja, não se dispunha de informações espaciais suficientes sobre a população para redistribuí-la.

D'Antona et al. (2013) apresentam um método para refinar a unidade de análise de dados censitários em unidades de conservação utilizando as coordenadas geográficas dos domicílios obtidas pela Contagem da População do IBGE de 2007. Resultados mostraram que o método minimizou problemas observados no uso de unidades ad-

[5] A relação de vizinhança considerada nesse procedimento foi de contiguidade, ou seja, um objeto é vizinho apenas daqueles com os quais compartilha uma fronteira.

ministrativas ou de coleta para a espacialização dos dados censitários e apresenta-se como uma abordagem com grande potencial de aplicação na demografia e em outras áreas do saber.

Assim, para representar a heterogeneidade espacial dos setores, utilizaram-se as informações provenientes do CNEFE, que lista todas as edificações recenseadas no ano de 2010. No CNEFE, para as edificações em situação rural foram coletados os pares de coordenadas geográficas, mas aquelas em situação urbana foram coletados apenas os endereços. O item seguinte descreve o processo de geocodificação, necessário para espacializar os endereços.

3.2.3.2.2.1 Geocodificação do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos

Para utilizar a natureza espacial de um endereço é necessário associá-lo à um ponto no espaço geográfico. O processo de transformar uma descrição de uma localização, como um endereço, ou o nome de um lugar na superfície terrestre é chamado de *Geocodificação* (RATCLIFFE, 2001). O resultado são dados pontuais com atributos, os quais podem ser usados em mapeamentos e análises espaciais.

Primeiramente, os dados do CNEFE foram tabulados no *R* (R Core Team, 2015). Dentre as 102.431 edificações do banco de dados do CNEFE situadas nos setores censitários que interceptavam a APA-MRPS, 69.705 encontravam-se em situação urbana, e não tinham suas coordenadas conhecidas. Tais observações tiveram seus endereços geocodificados utilizando o pacote *ggmap* (KAHLE; WICKHAM, 2013), que faz uso do serviço *Geocoding* da Google Maps API[6], e que apresenta ferramentas para avaliar a qualidade da geocodificação. Apenas os pontos para os quais o resultado retornado refletia um código geográfico preciso, ou uma aproximação (normalmente em uma via) interpolada entre dois pontos precisos (como interseções) foram considerados na análise. O total de endereços geocodificados com sucesso foi de 44.834 (64,32%).

A geocodificação quando avaliada quanto à coerência em relação à localização nos respectivos setores censitários, apresentou 66,45% das edificações localizadas no setor censitário correto. A análise visual dos pontos em relação às imagens de satélite e os setores qualificou a geocodificação suficiente para redistribuir os indicadores

[6]Para maiores informações sobre o serviço *Geocoding* da Google Maps API consulte a documentação em: https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/geocoding?hl=pt-br#Geocoding

socioeconômicos.

3.2.4 Integração de dados: construção da base celular

Considerando a necessidade de integrar os dados de sensoriamento remoto e os dados censitários em uma única referência espacial, adotou-se a abordagem por espaço-celular. O espaço celular é uma grade de células regulares que permite compatibilizar informações provenientes de diferentes fontes, e formatos distintos (dados vetoriais, matriciais e também outros planos celulares), integrando-os em uma mesma base espaço-temporal (AGUIAR et al., 2008; CARNEIRO et al., 2013).

O espaço celular foi constituído de células regulares, com resolução de $200 \times 200m$. As células foram dimensionadas com a escala espacial mais refinada possível em função da capacidade de processamento disponível, além da restrição de que cada setor deveria conter pelo menos uma célula.

O plano celular foi criado utilizando APA-MRPS como máscara. Os atributos das células foram calculados (Figura 3.7) com o auxílio de uma ferramenta computacional que faz uso de procedimentos topológicos em sistemas de informação geográfica[7], a partir de dados armazenados em outras camadas (*layers*): dos mapeamentos de uso e cobertura da terra (Figura 3.7 [b]); dos indicadores sociais e econômicos agregados por setores censitários e das edificações provenientes do CNEFE (Figura 3.7 [c]).

Por fim, com o intuito de refinar espacialmente os dados censitários, os indicadores socioeconômicos selecionados foram redistribuídos somente entre as células que continham as edificações (pontos) provenientes do CNEFE.

Todos os indicadores construídos a partir de dados populacionais consideram valores relativos à população total, uma *coorte* da população, ou número de domicílios (i.e. proporções, razões, taxas) em cada setor, e por isso, estes valores foram transferidos para as células pertencentes ao setor. Ainda que esse comportamento possa não se refletir exatamente desta forma no espaço, esta foi a estratégia encontrada para a redistribuição dos indicadores das dimensões Social e Econômica.

[7]Utilizou-se o *plugin* de *preenchimento de células*, disponível no sistema de informações geográficas TerraView 4.2.2 (INPE, 2013).

Figura 3.7 - Esquema da integração dos dados no espaço celular.

Fonte: Produzido pelo autor.

O espaço celular foi criado utilizando o limite da APA-MRPS como máscara (a); as célula foram preenchidas com os percentuais de classes de uso e cobertura (b); apenas as células para as quais haviam edificações foram preenchidas com os dados populacionais dos censos (c).

3.2.5 Cálculo e representação dos indicadores compostos das dimensões do iSAM

Além dos indicadores simples descritos anteriormente, foi criado um indicador composto para cada dimensão do sistema de indicadores. Pelo fato de os indicadores simples, sociais e econômicos, estarem em diferentes unidades de medida, e consequentemente em diferentes intervalos de variação, primeiramente eles foram transformados em medidas adimensionais entre 0 e 1, onde o valor máximo representa uma condição melhor. Para compatibilizar a escala do 'Índice de Gini' e da 'Razão de dependência', que apresentavam valores com lógica inversa à adotada – o maior valor é inversamente proporcional a uma condição desejável – os valores já normalizados foram subtraídos de 1, colocando-os na mesma lógica de valores dos demais indicadores. A normalização foi aplicada com o objetivo de uniformizar as escalas de valores dos indicadores para que pudessem ser agregados, e utilizou o seguinte suporte matemático:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Onde:

x_{norm} = Valor normalizado obtido para a célula;
x = Valor bruto obtido para a célula;
x_{min} = Menor valor observado entre as células para o indicador;
x_{max} = Maior valor observado entre as células para o indicador.

Os indicadores compostos das dimensões Social e Econômica, foram calculados como a média dos indicadores simples normalizados.

Para a dimensão Ecológica, o indicador composto foi calculado como a média ponderada dos percentuais de classes de uso e cobertura da terra, tendo como fator de ponderação o resultado da AHP:

$$I_{Ecol} = \sum_{i=1}^{n}(x_i \cdot w_i)$$

Onde:

I_{ecol} = Indicador composto da dimensão ecológica;
x = Percentuais das classes de cobertura da terra;
w = Fatores de ponderação escolhidos através da AHP;
n = Classes de uso e cobertura da terra.

Após o cálculo, os indicadores compostos das dimensões Social, Econômica e Ecológica, passaram novamente pela transformação de escala, fazendo com que variassem de 0 a 1.

Os indicadores compostos foram representados por meio de uma superfície, uma grade multidimensional, onde cada dimensão recebeu uma cor falsa de composição, mesma técnica utilizada para a composição colorida de fotografias digitais e imagens de SR orbital, utilizando as cores R (Vermelho), G (Verde), e B (Azul)[8] (JENSEN, 2007), em que as cores representam as dimensões Econômica, Ecológica e Social, respectivamente. Esta representação permitiu uma análise conjunta dos três indicadores compostos, referentes às dimensões do sistema, proporcionando capacidade de síntese, mas sem a perda de proximidade entre os conceitos e a medida que uma nova aglutinação dos indicadores traria.

[8]Do inglês *Red*, *Green*, *Blue*.

4 DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL

Um diagnóstico socioambiental baseado no **iSAM** foi elaborado para a APA-MRPS como um todo e para cada uma das 15 unidades da APA-MRPS. Para a APA-MRPS como um todo, foi realizada uma análise da dinâmica do uso e cobertura da terra, e características demográficas. Para as unidades, o sistema de indicadores foi apresentado através de um painel de observações[1], que inclui o gráfico da dinâmica de uso e cobertura, os indicadores simples que compõem as dimensões Social e Econômica para os períodos 2000 e 2010 e os mapas dos indicadores compostos em composição RGB, também para os dois períodos.

Os mapas dos indicadores compostos em composição RGB atribuem os valores dos indicadores compostos, individualmente, às intensidades dos componentes vermelho, verde e azul das cores das células. Dessa maneira, as cores finais estão relacionadas a cada uma das dimensões sem que haja uma maior homogeneização da informação. A intensidade de vermelho representa o indicador composto da dimensão Econômica, azul representa a dimensão Social, e verde a dimensão Ecológica. A Figura 4.1 apresenta a figura conceitual dos mapas em composição RGB e uma legenda de interpretação das cores finais com diferentes combinações de intensidade dos canais RGB.

No mapa RGB dos indicadores compostos, observou-se que as áreas que concentram uma maior população, e por isso, possuem os indicadores das dimensões Social e Econômica > 0, em geral, são também as áreas com o indicador da dimensão Ecológica mais baixo devido à ausência de classes de vegetação e presença da classe 'Área construída'. Isso fez com que os mapas apresentassem, predominantemente, tons variando de verde ao preto em regiões sem ocupação humana ($R = 0; 0 \leq G \leq 1; B = 0$), e tons de vermelho, azul, magenta e suas combinações no espaço RGB para áreas ocupadas ($0 \leq R \leq 1; 0 \leq G \leq 0,15; 0 \leq B \leq 1$).

A apresentação da análise das unidades da APA-MRPS segue uma ordem de localização geográfica na bacia, iniciando-se pelas unidades a montante da BHPS, seguindo para as situadas a jusante. Algumas unidades foram agrupadas por serem

[1] Anazawa (2012) propôs o conceito de *Painel de Observações* para representar as múltiplas dimensões de um processo, que, no caso dessa autora, tratava-se da *vulnerabilidade socioecológica*. O Conceito de *Painel de Observações* busca a constituição de uma representação de processos/fenômenos multidimensionais que procure evidenciar as diversas dimensões do conceito e que ajude a superar as representações reducionistas baseadas na apresentação única de um índice/indicador sintético. Um painel de observações é composto por várias formas de representação possíveis, agrupadas em um quadro, para o processo/fenômeno em observação.

Figura 4.1 - Figura conceitual e legenda para interpretação dos mapas em composição RGB.

Fonte: Produzido pelo autor.

No espaço de cores RGB, a combinação do vermelho, verde e azul resultam na cor branca. As cores complementares, amarelo, magenta e ciano são criados pela adição de vermelho e verde, azul e vermelho, e azul e verde, respectivamente. A ausência de cores resulta no preto.

espacialmente próximas e, ao mesmo tempo, compartilharem certas características.

4.1 APA-Mananciais do Rio Paraíba do Sul

Antes da exploração sem regulação a que foi submetida ao longo dos ciclos econômicos, a BHPS era coberta por florestas características do bioma Mata Atlântica. A perda da cobertura florestal teve início no ciclo do ouro, no século XVIII e continuou, até a pecuária leiteira, no século XX, tendo como ápice o ciclo cafeeiro durante o século XIX (DEAN, 1996). Enquanto avançava a decadência da cafeicultura, a pecuária se desenvolvia, substituindo a agricultura como atividade econômica principal, até meados do século XX, quando o país entra na era industrial, transformando a região de uma condição de economia e população essencialmente rurais para uma condição predominantemente urbana, em menos de três décadas. Atualmente, os remanescentes florestais representam apenas 12,88% do território da BHPS, e 13,37% em sua parcela paulista (SOSMA; INPE, 2015). Porém, parte das extensas áreas desmatadas foram subutilizadas, e vem se regenerando, dando lugar a novas florestas em estágio inicial e médio de regeneração.

A Tabela 4.1 e a Figura 4.2 apresentam as classes de uso e cobertura obtidas no mapeamento (Apêndice B).

Tabela 4.1 - Valores percentuais e absolutos de uso e cobertura da terra na APA-MRPS para os anos 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015.

Classe	Total (*ha*)/(%)					Histórico gráfico
	1985	1991	2000	2010	2015	
Floresta	69305.3	63068.5	67372.6	77024.3	94778.8	
	23.7%	21.6%	23.0%	26.3%	32.4%	
Floresta monoespecífica	5637.7	7530.3	8315.5	14347.3	17695.4	
	1.9%	2.6%	2.8%	4.9%	6.1%	
Herbáceo/ Arbórea	30168.1	37140.1	38587.9	26028.2	41276.3	
	10.3%	12.7%	13.2%	8.9%	14.1%	
Pasto/ Gramíneas	150327.5	140100.3	139254.8	133093.5	95118.4	
	51.4%	47.9%	47.6%	45.5%	32.5%	
Rochas	928.8	327.2	795.1	610.8	495.0	
	0.3%	0.1%	0.3%	0.2%	0.2%	
Solo exposto	12552.6	20108.3	12855.7	13902.3	22135.5	
	4.3%	6.9%	4.4%	4.8%	7.6%	
Mineração	335.6	428.9	423.0	482.1	457.8	
	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	
Área construída	1860.1	3044.6	3766.4	4579.8	4897.8	
	0.6%	1.0%	1.3%	1.6%	1.7%	
Água	21181.0	20647.4	19001.7	22340.7	15531.0	
	7.2%	7.1%	6.5%	7.6%	5.3%	
Não observado	98.1	0.0	2024.3	0.0	0.0	
	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	
Total					292409.0	
					100%	

Fonte: Produzido pelo autor.

No histórico gráfico, os pontos azuis representam as datas onde a respectiva classe de uso e cobertura da terra apresentou o valor máximo na série histórica.

Figura 4.2 - Proporção entre as classes de uso e cobertura da terra na APA-MRPS para os anos 1985, 1991, 2000, 2010 e 2015.

Fonte: Produzido pelo autor.

Em decorrência do processo histórico no Vale do Paraíba Paulista, em que coberturas naturais da terra foram convertidas em culturas agrícolas e posteriormente em pastagens, a APA-MRPS teve como classe predominante 'Pasto/Gramíneas' em todos os anos de referência. Entretanto, a classe apresentou um decréscimo contínuo ao longo do período analisado. Em 1985, mais de metade do território da APA-MRPS era coberta por 'Pasto/Gramíneas' – 51,4%. Nos períodos seguintes, apresentou 47,9%; 47,6%; 45,5%, e 32,5%, para os anos 1991, 2000, 2010 e 2015 respectivamente.

As classes de coberturas florestais, por sua vez, aumentaram entre 1985 e 2015. A classe 'Florestas' que representava 23,7% do território em 1985 (69.305 ha), expandiu para 32,4% (94.778 ha) em 2015 – um incremento de 36,7%, que foi observado na maioria das unidades, conforme será discutido nas próximas seções. Observou-se também, um crescimento representativo do uso da terra para silvicultura. A classe 'Floresta monoespecífica' mais do que triplicou em área: aumentou de 1,9% – 5.637,7 ha – da área da APA-MRPS para 6,1% – 17.695,4 ha.

A proporção de 'Solo exposto' passou por oscilações entre 4,3% e 7,3% no período analisado. O comportamento pode ser justificado pela sensibilidade das pastagens a efeitos do clima, convertendo-as em áreas de solo exposto em períodos e/ou estações mais secos.

As manchas urbanas também cresceram em grandes proporções. Em 1985, a 'Área

construída' ocupava 0,6% da APA – 1.860 ha – e cresceu gradualmente 163,3% ao longo dos períodos seguintes para 1,7% – 4897,8 ha.

O uso da terra para extração mineral também cresceu. A classe 'Mineração' aumentou em área 36,4% no período analisado, ascendendo entre 1985 e 2010, de 335,6 ha para 482,1 ha, e decrescendo para 457,8 ha em 2015. Mas apesar de terem aumentado em área, a grande maioria dos pontos identificados existiam antes de 1985, sendo apenas um novo ponto desde então.

Pode-se perceber que no momento de criação da APA-MRPS, sua cobertura florestal natural – característica do bioma Mata Atlântica – havia sido removida, e as manchas urbanas e atividades mineradoras existiam. Desde então, florestas vêm se regenerando gradativamente substituindo regiões de pastagens/gramíneas abandonadas. Entretanto, a criação da APA não limitou a expansão das áreas urbanas, atividades mineradoras e áreas de silvicultura.

Na APA-MRPS, foi estimada uma população de 122.419 habitantes em 2000, que aumentou para 142.995 em 2010, que representa uma taxa de crescimento médio anual de 1,57% a.a.. Em ambas as datas a população era predominantemente masculina. A densidade demográfica era de 41,9 hab/km^2 e passou a 48,9 hab/km^2 em 2010. Em 2000, 5,0% (14.686,5 ha) do território da APA-MRPS estava em situação urbana; e em 2010, 9,5% (27.776,5 ha).

A Figura 4.2 apresenta uma comparação gráfica entre as unidades da APA-MRPS, considerando seus indicadores compostos das três dimensões do iSAM, e destaca a existência dos diferentes contextos sociais, econômicos e ecológicos em que a APA-MRPS se insere.

Entre as unidades da APA-MRPS, as que melhor cumprem a função ecológica de proteger os mananciais são Guaratinguetá 2, Cruzeiro, Lavrinhas, Queluz, Piquete e Bananal, respectivamente. Em relação às populações humanas inseridas na APA, a unidade do Putim se destaca por apresentar, em ambas as datas analisadas, as melhores condições sociais e econômicas, mas também as piores condições da paisagem para a proteção dos recursos hídricos. Em menores proporções em relação à unidade Putim, as unidades de Monteiro Lobato e Guaratinguetá 1 também apresentam boas condições sociais e econômicas. A seguir, serão apresentados os resultados para cada unidade da APA-MRPS individualmente.

Tabela 4.2 - Comparação entre os indicadores compostos das unidades da APA-MRPS.

Fonte: Produzido pelo autor.

O gráfico de bolhas apresenta uma comparação entre as unidades da APA-MRPS, considerando seus indicadores compostos das dimensões Ecológica (tamanho das bolhas), Social, (eixo x), e Econômica (eixo y).

4.2 Paraibuna

O Rio Paraíba do Sul (RPS) é formado na unidade Paraibuna, resultado da confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga, próximo à sede municipal do município de Paraibuna. A unidade abrange os núcleos urbanos de Natividade da Serra e Paraibuna, além de parte dos municípios de Jambeiro, Santa Branca, Jacareí, e Redenção da Serra. De todas as unidades, Paraibuna encontra-se mais a montante da BHPS, o que lhe confere uma importância relevante, pois sua proteção deve beneficiar um maior número de municípios e pessoas em relação às outras unidades. Além disso, é a segunda unidade em extensão, com 68.514,5 ha que corresponde a aproximadamente a quarta parte – 23,43% – do território total da APA-MRPS. As principais atividades econômicas na unidade Paraibuna são pecuária, agricultura familiar e turismo rural (PARAIBUNA, 2012; Natividade da Serra, 2011).

A unidade Paraibuna possui dois reservatórios: o primeiro deles formado pela barragem do RPS no município de Santa Branca, construída em 1950; o outro reservatório, a montante, denominado Paraibuna, é formado por barragens dos rios Paraitinga

e Paraibuna, construídas em 1977. Os reservatórios têm a finalidade principal de regular a vazão do RPS, além de geração de energia, pois alimentam duas usinas hidroelétricas (UHE): a UHE Santa Branca, operada pela empresa Light; e a UHE Paraibuna, operada pela CESP (Companhia de Energia Elétrica de São Paulo) (AGEVAP, 2007).

Apesar de sua importância para a conservação dos mananciais do RPS, na unidade Paraibuna está instalado o projeto de infraestrutura do Complexo Rodoviário "Nova Tamoios", que prevê a duplicação da Rodovia dos Tamoios no trecho Planalto, além da construção de uma nova pista, em eixo distinto do atual traçado, com túneis e viadutos extensos no trecho Serra. Empreendimentos deste porte atraem muitos trabalhadores, que geralmente migram com suas famílias para a região promovendo aumento populacional. O crescimento demográfico e a usual falta de planejamento, acarreta a ocupação de novos espaços, e pressiona a expansão dos serviços públicos gerando a necessidade local de mais infraestrutura de saneamento, saúde, educação, segurança, transporte público, iluminação, entre outras (TEIXEIRA, 2013). Quando esse movimento não é acompanhado das medidas adequadas para a regularização territorial, sofrem os mananciais e a população.

O indicador composto da *dimensão Ecológica* melhorou entre 2000 e 2010 de 0,44 para 0,49, e passou da 11ª para a 10ª posição. Grande parte da unidade Paraibuna é coberta por 'Água', em função dos reservatórios que se encontram inseridos em seu território. Entre 1985 e 2010, a área coberta por 'Água' manteve-se em média de 24,3% (16.607,5 ha) e em 2015 – ano em que a região passou por uma seca severa – diminuiu para 17,6% (12.028,5 ha). Nesta data, a cobertura 'Água' foi convertida em regiões de 'Solo exposto' no entorno dos reservatórios. A classe de 'Solo exposto', ocupava em média de 4,6% (3.004,2 ha) da unidade entre 1985 e 2010, e 10,8% (7.368,84 ha) em 2015. A classe predominante em todos os anos é a 'Pasto/Gramíneas', que se apresentou em declínio ao longo dos anos analisados. As áreas de 'Pasto/Gramíneas' passaram de 47,6% da unidade (32.626,0 ha) em 1985 para 29,7% (20.339,2 ha) em 2015, um decréscimo de 37,7%. De maneira geral, para a região, a classe está associada a pastagem para a pecuária. Entretanto, as áreas encontram-se subutilizadas e consequentemente deram lugar à outros usos da terra ou à regeneração da vegetação florestal, característica da região. Neste sentido, houve um incremento de 59,9% da classe 'Floresta'. Regiões de 'Floresta' representavam 15,4% (10.523,3 ha); 11,9% (8.169,6 ha); 14,2% (9.759,1 ha); 19,6% (13.400,8 ha); e 24,6% (16.826,4 ha) da unidade em 1985; 1991; 2000; 2010 e 2015 respectivamente. Áreas de 'Pasto/Gramíneas' também deram lugar às 'Florestas

Figura 4.3 - Painel de indicadores da unidade Paraibuna.

	Dimensão		
	Econ.	Ecol.	Soc.
2000			
Posição	06/15	11/15	08/15
Valor	0,61	0,44	0,49
2010			
Posição	06/15	10/15	05/15
Valor	0,57	0,49	0,65

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.4 - Imagens da unidade Paraibuna. (a) Núcleo urbano do município de Paraibuna; (b) Atividade de mineração da empresa Serveng no município de Jambeiro.

(a) (b)

Fonte: (a) Disponível em: http://www.paraibuna.sp.gov.br/ e (b) DigitalGlobe/Google (2016)

monoespecíficas', que cresceram 304,9% no período entre 1985 e 2015. O crescimento ocorreu principalmente na década entre 2000 e 2010, quando o incremento foi de 202,7%. Existem poucas manchas de 'Áreas construídas' na unidade Paraibuna – apenas 0,8% do seu território em 2015. Entretanto, as manchas se espalharam e aumentaram 128,4% entre 1985 e 2015, principalmente entre 2000 e 2010, quando a área total passou de 340,0 ha para 495,4 ha – crescimento de 45,7%. Além disso, as manchas urbanas identificadas encontram-se às margens dos reservatórios, como pode ser visto nos mapas de uso e cobertura da terra do Apêndice B. Parte das 'Áreas construídas' existiam quando as barragens foram construídas, fazendo com que os municípios de Paraibuna e Natividade da Serra ficassem às margens do reservatório (AGEVAP, 2014). Identificou-se ainda um ponto de 'Mineração', existente em 1985, localizado na cidade de Jambeiro, às margens do rio Varador e a apenas 160 m do reservatório de Santa Branca. A Empresa responsável pela atividade é a Serveng Mineração, que produz agregados e materiais usinados de asfalto e concreto. A área mapeada como 'Mineração' manteve-se ao longo do tempo em média de 61,2 ha.

Estimou-se que a população residente na unidade decresceu a uma taxa média anual de -0.56% a.a., de 9.095 habitantes em 2000 e 8.596 em 2010, e densidade demográfica de 13,3 hab/km^2 e 12,5 hab/km^2, respectivamente. Em ambas as datas, a população é predominantemente masculina, que é uma característica de áreas rurais.

A maioria dos indicadores da dimensão Social melhoraram entre os anos analisados, e isso se refletiu no indicador composto que aumentou e 0,49 para 0,65, e passou

da 8ª para 5ª posição entre as unidades. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – de 78,44% para 86,22% –, e também entre os jovens de 8 a 17 anos – de 95,71% para 97,68%. O ensino básico tem atingindo um número maior de pessoas ao longo do tempo, demonstrado, tanto pelo incremento das proporções dos grupos de alfabetizados, como pelo fato de que a média de alfabetizados é menor entre os responsáveis do que entre as crianças e jovens. A abrangência do saneamento básico na unidade é precária, apesar de alguns indicadores apresentarem melhoras. A cobertura de coleta de lixo era de apenas 30,3% em 2000, crescendo para 67,2% em 2010. A coleta de esgotos é ainda mais deficiente – apenas 20,2% em 2000 aumentando para 51,2% em 2010. O indicador de acesso à água apresentou valores baixos e em queda de 36,4% em 2000 para 30,7%. Além disso as métricas das condições de saneamento apresentaram altos valores de dispersão, o que indica, ainda, desigualdade de acesso da população à coleta de lixo e esgoto, e abastecimento de água. A quantidade de pessoas acima da expectativa de vida entre os homens é maior que entre as mulheres,[2] e os dois sexos mantiveram valores próximos em ambas as datas.

Na *dimensão Econômica*, por sua vez, o indicador composto teve um pequeno decréscimo de 0,61 em 2000 para 0,57 em 2010, mas manteve-se na 6ª posição entre as unidades. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho diminuíram entre 2000 e 2010, para os homens (-14,0%) e para as mulheres (-32,7%). Entretanto, a redução foi maior entre as mulheres, além das médias entre elas terem sido menores em relação aos homens. Isto indica que a proporção de mulheres que buscam o mercado de trabalho e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e a diferença aumentou ao longo do período. A razão de dependência aumentou de 0,41 para 0,51, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 3,16 sm para 1,86 sm.[3]

A partir dos mapas RGB dos indicadores compostos, pode-se observar que a população inserida na unidade refere-se, principalmente aos núcleos urbanos de Paraibuna e Natividade da Serra. No núcleo urbano de Paraibuna (A), os indicadores sociais e econômicos estiveram em equilíbrio em ambas as datas, mas com valores mais baixos em 2010. Em Natividade da Serra (B), ambas as datas apresentaram o indicador social alto e econômico baixo. Nas regiões de ocupação humana mais dispersas e afastadas das sedes municipais, observou-se em 2000, baixos valores para o indica-

[2]Entretanto, deve-se considerar que a expectativa média de vida entre as mulheres é maior que para os homens em ambas as datas (consultar Apêndice A para mais informações).

[3]Deve-se considerar que o deflator utilizado, o salário mínimo, aumentou de R$ 151 em 2000 para R$ 510 em 2010

dor social, e valores relativamente altos para o econômico, mas em 2010 o cenário se inverte, e estas regiões passaram a ter valores altos para o indicador social e baixo para o econômico. A região ao sul (C) é a que apresentou valores mais elevados para o indicador ecológico, devido à predominância de cobertura florestal natural. Essa porção da unidade se sobrepõe ao Parque Estadual da Serra do Mar, que é uma UC de proteção integral, ou seja, de uso dos recursos naturais mais restritivo. Também pôde-se observar que o entorno do reservatório possui diversas células com baixos valores para o indicador ecológico, indicando a ausência de coberturas florestais, e presença de atividades mineradoras e ocupação humana – esta última agravada pelos baixos indicadores de saneamento básico.

4.3 Jaguari

A unidade Jaguari está parcialmente inserida na Região Metropolitana de São Paulo, que é a maior metrópole do Brasil, e uma das regiões metropolitanas mais populosas do mundo, com cerca de 20 milhões de habitantes – em 2010 – dos quais 98,86% vivia em situação urbana (IBGE, 2010). Esta unidade compreende em seu território os núcleos urbanos de Santa Isabel e Igaratá, além de parte dos municípios de Arujá, Guarulhos, Jacareí e São José dos Campos.

Ainda que inserida em um contexto altamente urbanizado – 24,5% do território encontra-se em situação urbana, segundo o IBGE (2010) –, é de grande importância para a proteção dos mananciais de abastecimento da BHPS por sua localização a montante da bacia. Dos 28 municípios que captam água do RPS para abastecimento, 23 estão a jusante da unidade Jaguari, além da região metropolitana do Rio de Janeiro, situada fora dos limites da BHPS. É ainda a unidade mais extensa – 69.488,1 ha – e corresponde à quarta parte – 23,76% – do território total da APA-MRPS. Nesta unidade, o Rio Jaguari[4] – um dos principais afluentes do RPS (AGEVAP, 2014) – é represado, formando um reservatório com volume útil de 792 hm^3, que, assim como o reservatório de Paraibuna, tem por finalidade regular a vazão do RPS. Além do controlar de vazão, a represa possui uma usina hidroelétrica operada pela CESP, responsável pelo suprimento de energia em épocas de estiagem (AGEVAP, 2007).

Recentemente (fevereiro de 2016), o governo do estado de São Paulo deu início a obras que interligam o reservatório Jaguari ao reservatório Atibainha, que integra o Sistema Cantareira. A interligação tem o objetivo de transferir determinada vazão para o Sistema Cantareira, garantindo maior segurança hídrica para o abastecimento

[4]Existe um outro rio com o mesmo nome, a pouca distância, e que também é represado, entretanto pertence a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.

Figura 4.5 - Painel de indicadores da unidade Jaguari.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.6 - Imagens da unidade Jaguari. (a) Núcleo urbano de Santa Isabel; (b) Atividade de mineração no município de Guarulhos; (c) Núcleo urbano do município de Igaratá; e (d) Condomínios de alto padrão às margens da reservatório do Jaguarí.

Fonte: (a), (b) e (c) DigitalGlobe/Google (2016); (b) Disponível em: http://www.panoramio.com/photo/108436076

da Região Metropolitana de São Paulo. Em contrapartida, a medida foi questionada por colocar em risco o abastecimento dos 23 municípios a jusante do reservatório Jaguari e região metropolitana do Rio de Janeiro, que dependem das águas do RPS. Segundo Braga et al. (2008), os principais conflitos relacionados às águas da BHPS concernem à transposição de suas águas.

O indicador composto da dimensão *Ecológica* apresentou uma pequena melhora de 0,47 para 0,49 entre 2000 e 2010, mas caiu da 10ª para 11ª posição entre as unidades. Em 1985 as áreas de 'Pasto/Gramíneas' eram predominantes, e representavam 48,2% da unidade. Mas ao longo do tempo a cobertura diminuiu em extensão e passou a 37,2% do território em 2015, dando lugar a classes em expansão como 'Áreas construídas', 'Florestas' e 'Florestas monoespecíficas'. As 'Áreas construídas' correspondiam a 823,1 ha (1,2%) em 1985 e se expandiram para 2.279,8 ha (3,3%) em

2015, fazendo de Jaguari, a unidade com maior área desta classe. Grande parte das manchas de 'Áreas construídas' localizam-se às margens do reservatório do Jaguari. A área coberta por 'Florestas' decresceu entre 1985 e 1991, de 28,5% para 22,7%, mas há um aumento contínuo desta classe de cobertura nos períodos seguintes, atingindo 31,2% da área em 2015, que representa um aumento de 9,4%. As áreas de 'Floresta monoespecífica' também expandiram. Em 1985 foram mapeados 1.373,2 ha de plantios florestais, e em 2015, 3.552,8 ha – crescimento de 158,7%, que ocorreu, principalmente, na década de 2000. Jaguari é, também, a unidade com mais 'Minerações'. Foram identificados 6 atividades de mineração, das quais quatro estão em Santa Isabel, uma em Arujá e uma em Guarulhos. Apenas uma das 'Minerações' não existia na primeira data analisada, entretanto todas cresceram em extensão. Ao todo eram 200,6 ha em 1985 que expandiram para 272,2 ha em 2015, representando um crescimento de 35,7%.

Na unidade Jaguari, estimou-se que a população residente cresceu a uma taxa média anual de 0,88% a.a., de 56.898 habitantes em 2000 para 62.103 em 2010. Cerca de 43,0% da população inserida na APA-MRPS está nesta unidade. Em ambas as datas a população era predominantemente masculina. A densidade demográfica era de 81,9 hab/km^2 e passou a 89,4 hab/km^2 em 2010.

O indicador sintético da *dimensão Social* aumentou de 0,52 em 2000 – 7ª posição entre as unidades – para 0,65 em 2010 – 6ª posição. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – em 2000, 81,0% eram alfabetizados e em 2010 o valor aumentou para 85,4% –, e também entre os jovens – 96,5% para 97,0%. O saneamento básico apresentou deficiências em abrangência, mas melhorou em dois dos três indicadores entre 2000 e 2010. A cobertura de coleta de lixo era de apenas 49,8%, e cresceu para 87,0%. A coleta de esgotos é ainda mais deficiente – a cobertura era de apenas 36,4%, e melhorou para 62,5%. O indicador de acesso à água foi o único a apresentar queda de 37,1% para 34,5%. Além disso as métricas das condições de saneamento apresentaram altos valores de dispersão, o que indica, ainda, desigualdade de acesso da população à coleta de lixo e esgoto, e abastecimento de água entre regiões distintas da unidade. Em regiões urbanas a condição era melhor do que a apresentada pelo valor médio, enquanto nas regiões rurais a população viviam em condições sanitárias ainda pior do que o valor médio para a unidade. A proporção de mulheres acima da expectativa de vida aumentou, e entre os homens diminuiu. Entretanto, esta proporção entre os homens é maior que entre as mulheres em ambas as datas.

A *dimensão Econômica*, por sua vez, apresentou queda para o indicador sintético

de 0,65 para 0,56, e em relação às outras unidades passou da 3ª para 7ª posição. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho diminuíram entre 2000 e 2010, para os homens – de 74,5% para 58,7% – e para as mulheres – de 49,8% para 29,9% . Entretanto, a redução foi maior entre as mulheres – -40,1% frente à -21,2% entre os homens –, além das médias entre elas terem sido menores em relação aos homens. Isto indica que a proporção de mulheres que buscam o mercado de trabalho e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e a diferença aumentou ao longo do período. A razão de dependência cresceu de 0,39 para 0,49, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 3,1 sm para 2,0 sm. Porém, o número de domicílios próprios aumentou de 46,0% para 58,4%. Ademais, o coeficiente de Gini, que apresentou valores elevados, indicando má distribuição de renda, melhorou de 0,45 para 0,38.

A partir dos mapas em RGB dos indicadores compostos, pode-se observar os diferenciais sociais, econômicos e ecológicos ao longo do território da unidade Jaguari. As regiões mais populosas são os núcleos urbanos de Santa Isabel (A) e Igaratá (B). Ambas as regiões apresentaram, em 2000, valores altos para as dimensões Social e Econômica e em 2010 houveram decréscimos da dimensão Econômica e crescimento da Social. Às margens do reservatório do Jaguarí, nota-se algumas áreas ocupadas (C), que apresentaram nos anos analisados valores baixos a intermediários para a dimensão Social, especialmente pela ausência de saneamento básico adequado. Nestas regiões localizam-se condomínios habitacionais de alto padrão, que se desenvolveram em áreas de preservação permanente (APP) às margens do reservatório (Figuras 4.6). A área rural de Santa Isabel (D) apresentou valores altos para a dimensão Econômica e baixos para a Social em 2000, mas em 2010 ambas as dimensões apresentaram valores baixos. Nas regiões rurais, algumas células apresentaram bons valores para a dimensão Ecológica, mesmo que com ocupação humana, e apresentam tons de amarelo, ciano ou cinzas. Na região (E) localiza-se a Serra do Itaberaba, onde observou-se as melhores condições ecológicas, em função da cobertura predominante ser 'Florestas'. Essa região sobrepõe-se à UC de proteção integral Parque Estadual de Itaberaba, criada em 2010 com o objetivo de conservação da biodiversidade e proteção de espécies ameaçadas do Contínuo Cantareira.

4.4 Putim

A unidade Putim localiza-se no município de São José dos Campos, às margens da rodovia Presidente Dutra e cortada pela Tamoios e Carvalho Pinto, a última inaugurada após a criação da APA-MRPS, em 1994. Trata-se de uma unidade bastante particular, pois tem uma extensão relativamente pequena – 5.336,4 ha –, e 70% desse território em situação urbana. A maior parte desta destina-se a fins residenciais, mas também tem inserida em seu interior parte do aeroporto de São José dos Campos e o aterro sanitário do município. Por sua localização e contexto, Putim tem pouca vegetação florestal e a maior parte do seu território ocupado por classes de uso associadas a atividades humanas.

O indicador composto da dimensão *Ecológica* no Putim foi de 0,25 em 2000 e não se alterou em 2010, mantendo também a última posição (15ª) entre as unidades. Assim como para a APA-MRPS como um todo, no Putim a classe de cobertura da terra predominante é 'Pasto/Gramíneas', que correspondia a 66,6% (3.553,0 ha) em 1985 e atingiu 38,0% (2.028,7 ha) em 2015. A classe 'Solo exposto' também esteve bastante presente na unidade – em torno de 14,9% –, e correspondia principalmente à terraplanagens para a expansão urbana e áreas de vegetação rala. As regiões de gramíneas, ao longo do tempo, deram lugar a expansão das 'Áreas construídas', que representavam 10,9% (584,0 ha) em 1985, mais do que dobraram em extensão em 2015, passando a 23,3% (1.245 ha). A expansão se deu principalmente entre 1985 e 1991, quando o incremento foi de 40,4%, e entre 2000 e 2010 com crescimento de 28,7%. As classes de vegetação 'Herbáceo/Arbórea', e 'Floresta' também substituíram as gramíneas, indicando o processo de regeneração da vegetação natural. As 'Florestas' cresceram de 1,6% para 8,6% entre 1985 e 2015. As 'Florestas monoespecíficas' também cresceram na unidade, principalmente entre 2000 e 2015, quando a classe passou de 13,7 ha para 281,8 ha.

Na unidade Putim, estimou-se que a população residente cresceu a uma taxa média anual de 3,53% a.a., de 30.846 habitantes em 2000 para 43.639 em 2010. Cerca de 43,0% da população inserida na APA-MRPS está nesta unidade. A densidade demográfica era de 578,0 hab/km^2 e passou a 817,7 hab/km^2 em 2010. É a unidade que apresentou maior crescimento da população residente e também maior densidade populacional.

De maneira geral, o Putim apresentou indicadores para as dimensões Social e Econômica superiores aos das outras unidades em ambas as datas, 2000 e 2010[5]. Na *dimen-*

[5]Isso é esperado quando se compara áreas rurais com urbanas, onde a população, normalmente,

Figura 4.7 - Painel de indicadores da unidade Putim.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.8 - Imagens da unidade Putim. (a) e (b) Bairro Putim de São José dos Campos.

(a) (b)

Fonte: (a) DigitalGlobe/Google (2016); (b) Disponível em: http://www.panoramio.com/photo/31887051

são Social, a unidade Putim apresentou um pequeno aumento no indicador composto de 0,77 para 0,80, e manteve-se na 1ª posição entre as unidades. Em ambas as datas, o Putim possuía as maiores proporções de alfabetizados entre os responsáveis – 92,93% e 95,9% em 2000 e 2010, respectivamente –, e jovens – 97,1% e 98,3% –, e também os melhores indicadores de saneamento básico, 97,1% (em 2000) e 98,5% (em 2010) das pessoas tinham o lixo dispostos adequadamente; 85,8% (em 2000) e 91,5% (em 2010) tinham esgotamento sanitário adequado; e os indicadores de acesso a água em quantidade e qualidade eram 62,0 e 60,3 em 2000 e 2010, respectivamente. Apesar das médias serem altas, a cobertura de esgotamento sanitário e o indicador de acesso à água apresentam desvios padrões altos, indicando suas variabilidades no espaço, e que existe um grande número de pessoas sem acesso às condições básicas de saneamento.

Na *dimensão Econômica*, a unidade apresentou queda no indicador composto de 0,85 para 0,77, mas manteve-se na 1ª posição entre as unidades. Entre os responsáveis por domicílio mulheres, 70,2% tinham rendimento maior que 1 sm em 2000, número que diminuiu para 45,48% em 2010; e entre os responsáveis homens a proporção é maior em ambos os anos (85,5% e 82,2%), além de terem diminuído em menor

tem mais acesso a infraestruturas de saneamento, educação, saúde, entre outros. Portanto, apesar de ter-se buscado considerar alternativas apropriadas para cada indicador em ambas as situações, deve-se ponderar ao comparar as unidades por meio da interpretação destes indicadores, que estas estão em diferentes contextos. Um exemplo é o indicador de acesso a água, que provavelmente será mais alto nas áreas urbanas, onde, diferentemente das regiões rurais, quase a totalidade da população tem acesso a água encanada, mas isso não permite dizer que uma unidade é superior a outra.

quantidade, confirmando a mesma desigualdade entre os sexos encontrada nas demais unidades, apesar dos valores mais altos. Por conter uma maior população em idade economicamente ativa, a razão de dependência é a menor de todas as unidades. Os dois indicadores de renda familiar possuem os maiores valores entre as unidades nas duas datas. O rendimento médio mensal dos responsáveis era de 4,7 sm em 2000 e diminuiu para 2,54 em 2010; mas a proporção de domicílios próprios passou de 75,2% para 75,3%. Por sua vez, o coeficiente de Gini melhorou de 0,41 para 0,35 – valores considerados altos, que indicam que a renda não é bem distribuída entre a população, mas que esta desigualdade diminuiu.

A partir dos mapas dos indicadores compostos em RGB, pode-se notar que as áreas não ocupadas predominavam tons escuros de verde nas duas datas, evidenciando baixos valores do indicador da dimensão Ecológica. As regiões com ocupação humana, apresentaram pouca variabilidade de cores na unidade, mas isso se deve ao fato de que, ao normalizar entre todas as células da unidade houve a saturação, pois, como dito anteriormente, o Putim destaca-se nas dimensões Social e Econômica entre as unidades. Contudo, pode-se perceber na tons de cores que há uma piora geral dos indicadores Econômicos de 2000 para 2010.

4.5 Monteiro Lobato

A unidade Monteiro Lobato abrange alguns bairros ao norte de São José dos Campos, o distrito de São Francisco Xavier, e grande parte do município de Monteiro Lobato, incluindo seu núcleo urbano. É a terceira maior unidade, compreendendo uma área total de 56.314,3 ha (19,3% da APA-MRPS). Nesta unidade, os principais rios são o rio do Peixe, que deságua no reservatório de Jaguarí, e o rio Buquira, afluente do RPS e responsável por parte do abastecimento urbano de São José dos Campos (AGEVAP, 2007). Além destes, há o Córrego Serrinha que é a principal fonte de abastecimento do município de Monteiro Lobato (Monteiro Lobato, 2012). Suas características topográficas, com a Serra da Mantiqueira ao norte e relevo montanhoso por toda sua extensão, contribuem para que a unidade tenha seus recursos naturais bem preservados. A economia da unidade Monteiro Lobato baseia-se no setor de Serviços e no Comércio, movidos, principalmente, pelo turismo. No setor agropecuário destacam-se a criação de bovinos de corte e de leite, e silviculturas (Monteiro Lobato, 2012).

Na *dimensão Ecológica*, a Unidade Monteiro Lobato manteve, entre 2000 e 2010, o índice de 0,57 e a 8ª posição entre as demais unidades. Em 1985 a cobertura da terra predominante na região eram as vegetações de 'Pasto/Gramíneas', que representa-

Figura 4.9 - Painel de indicadores da unidade Monteiro Lobato.

Fonte: Produzido pelo autor.

vam 53,1% da unidade. Ao longo do tempo, as florestas foram se regenerando, e as gramíneas passaram a apenas 29,7% do território em 2015. As 'Florestas' naturais, que representavam 29,9% da unidade, em 1985, cresceram para 42,7%, em 2015, o que representa um aumento de 42,6%. As áreas com 'Floresta monoespecífica' também se expandiram. Em 1985 foram mapeados 1.219,1 ha de plantios florestais, e em 2015, 2.684,2 ha – crescimento de 120,2%, que ocorreu, principalmente, nas décadas de 1990 e 2000. As 'Áreas construídas' correspondiam a 150,2 ha (0,3%) em 1985 e se atingiram para 603,5 ha (1,1%) em 2015. Este crescimento ocorreu, particularmente, ao norte de São José dos Campos, onde se desenvolveram bairros residenciais. Observou-se que a maior parte das manchas de 'Áreas construídas' localizam-se às margens dos rios do Peixe e Buquira e afluentes.

Estimou-se a população da unidade Monteiro Lobato em 18.691 habitantes em 2000 e 21.602 em 2010, uma taxa de crescimento médio anual de 1,46% a.a., abaixo do índice geral para a APA-MRPS, que é de 1,57% a.a. A densidade demográfica era de 33,2 hab/km^2 e passou a 38,6 hab/km^2 em 2010.

Exceto pelo indicador de cobertura de esgotamento sanitário os indicadores da *dimensão Social* melhoraram ou mantiveram-se estáveis entre os anos analisados, que se refletiu em um aumento do indicador composto de 0,61 para 0,70 entre 2000 e 2010, e na manutenção da 3ª posição entre as unidades. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – em 2000, 84,0% eram alfabetizados e em 2010 o valor aumentou para 89,03% –, e também entre os jovens – 69,6% para 98,2%. A cobertura de coleta de lixo, que era relativamente alta em 2000, com 73,1%, aumentou para 95,9% em 2010 – menor apenas que Putim, que é a unidade mais urbanizada. A abrangência do esgotamento sanitário adequado é precária. A coleta de esgotos cobria apenas 43,3% em 2000, e diminuindo para 36,7% em 2010. O indicador de acesso à água apresentou valores intermediários, comparados as demais unidades, e estáveis – 39,2% em 2000 e 41,1% em 2010. As métricas das condições de saneamento apresentaram altos valores de dispersão, o que indica que havia desigualdade de acesso da população à coleta de lixo e esgoto, e abastecimento de água. A quantidade de pessoas acima da expectativa de vida apresentou valores intermediários para ambos os sexos. O indicador entre os homens é maior que entre as mulheres, entretanto essa diferença diminuiu em 2010.

Na *dimensão Econômica*, o indicador composto aumentou diminuiu de 0,67 para 0,59 entre 2000 e 2010, e passou da 2ª para 3ª posição. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho diminuíram, para os homens (-11,1%) e para as mulheres

Figura 4.10 - Imagens da unidade Monteiro Lobato. (a) Bairros residenciais ao norte de São José dos Campos; (b) núcleo urbano de Monteiro Lobato, (c) Distrito de São Francisco Xavier em São José dos Campos; (d) Silvicultura.

(a) (b)

(c) (d)

Fonte: (a), (b), (c) e (d) DigitalGlobe/Google (2016).

(-32,8%). Entretanto, a redução foi maior entre as mulheres, além das médias entre elas terem sido menores em relação aos homens. Isto indica que a proporção de mulheres que buscam o mercado de trabalho e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e a diferença aumentou ao longo do período. A razão de dependência aumentou de 0,4 para 0,5, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 3,7 sm para 2,0 sm. Porém, o número de domicílios próprios aumentou de 53,0% para 57,5%. Ademais, o coeficiente de Gini, que apresentou valores elevados, indicando má distribuição de renda, melhorou de 0,5 para 0,4.

Nos mapas RGB dos indicadores compostos, os tons de verde mais claros indicam valores elevados para o indicador da dimensão Ecológica, devido à predominância de coberturas de vegetação natural. A região ao sul (A) corresponde aos bairros re-

sidenciais de São José dos Campos, que possuem os melhores indicadores sintéticos para as dimensões Social e Econômica, em ambos os anos, com uma leve diminuição do indicador Econômico. A região (B), ao sul do município de Monteiro Lobato, apresentou alto indicador Econômico e baixo Social, e em 2010 o cenário se inverte, passando a um alto indicador Social e baixo Econômico. A sede municipal de Monteiro Lobato (C), apresentou bons indicadores para as dimensões socioeconômicas em 2000, mas em 2010 destacou-se apenas na dimensão Social.

4.6 Una

A unidade Una está inserida na bacia hidrográfica do Rio de mesmo nome, e possui uma área de aproximadamente 37.239,3 ha, que pertence majoritariamente ao município de Taubaté (93,5%), e uma fração menor aos municípios de Redenção da Serra e Pindamonhangaba. Praticamente toda a sua extensão é definida como zona rural, sendo apenas 1,3% de zona urbana (IBGE, 2010). Nesta unidade, as atividades econômicas baseiam-se na agropecuária, dentre as quais se destacam a criação de rebanhos bovino de corte e leiteiro, e fazendas de plantação de eucalipto. Seu limite é definido pela área de contribuição hidrográfica a montante do ponto de captação de água para o abastecimento urbano de Taubaté e Tremenbé. Os principais rios da unidade Una são o rio Una – que é um dos principais afluentes do RPS, e é o principal manancial superficial de abastecimento dos municípios de Taubaté e Tremembé –, e seu afluente, o ribeirão das Almas.

Esta unidade apresenta perdas no indicador composto da *dimensão Ecológica*, variando de 0,44 em 2000 para 0,40 em 2010, que representa uma das piores condições entre as unidades – 12ª e 13ª posição em 2000 e 2010 respectivamente. A cobertura da terra predominante nesta unidade corresponde à classe 'Pasto/Gramíneas´, associada ao uso da terra como pastagem para a pecuária (IBGE, 2006), que ocupavam 64,4% da área em 1985 e decresceram continuamente até 42,7% da unidade em 2015. As áreas de 'Pasto/Gramíneas' subutilizadas deram lugar à regeneração das vegetações 'Herbáceo/Arbórea' e 'Florestas', sucessivamente. Em 1985 as florestas naturais se estendiam por 15,8% da unidade, e em 2015 eram 24,8%, um crescimento de 56,9% no período. Além das pastagens haviam extensas áreas de silvicultura: em 2015, cerca de 23,2% da área mapeada com a classe 'Florestas monoespecíficas' em toda a APA-MRPS estava na unidade Una. Assim como foi verificado para a APA-MRPS de maneira geral, as áreas de Florestas monoespecíficas na unidade Una expandiram de 1.415,6 ha (3,8%) em 1985 para 4.102,3 ha (11,0%) em 2015, que representa um incremento de 189,8%. As 'Áreas construídas' foram pouco repre-

Figura 4.11 - Painel de indicadores da unidade Una.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.12 - Atividades de extração e beneficiamento de minérios na unidade Una. (a) Fotografia aérea da área de mineração da empresa Dolomia; e (b) imagem orbital da Pedreira Pedra Negra

(a) (b)

Fonte: (a) Disponível em: http://www.dolomia.com.br/; (b) DigitalGlobe/Google (2016)

sentativas nesta unidade: em 1985 eram apenas 27,2 ha (0,1%) que se expandiram, principalmente na década de 2000, atingindo 113,9 ha (0,3%) em 2015. Entretanto, a ocupação humana existente ocorre de maneira esparsa, em forma de chacreamentos, dificultando o seu mapeamento na escala utilizada, e provavelmente subestimando sua extensão. A distribuição das 'Áreas construídas' seguiu um padrão marginal à rodovia SP-125 (Oswaldo Cruz), que liga os municípios de Taubaté e Ubatuba, e às estradas rurais que acessam os bairros do Macuco, Registro, Pedra Negra e Paiol (consultar Apêndice B). Também foram mapeados dois pontos de atividades de extração mineral, ambos consolidados desde a primeira data de mapeamento. A classe de uso da terra 'Mineração' compreendia, em 1985, aproximadamente 54,8 ha, e 94,7 ha em 2015, configurando um crescimento de 72,8% ao longo do período analisado. As minerações localizam-se em Taubaté e pertencem às empresas Dolomia Ltda. e a Pedreira Pedra Negra Ltda. (Figura 4.12). As mineradoras extraem e beneficiam calcário dolomítico para uso agrícola, industrial e construção civil.

Para a unidade Una estimou-se uma população de 2.651 habitantes em 2000 e 2.856 em 2010, uma taxa de crescimento médio anual de 0,74%, abaixo do índice geral para a APA-MRPS, que é de 1,57% a.a.. A densidade demográfica era de 7,1 hab/km^2 e passou a 7,7 hab/km^2 em 2010.

No Una, a *dimensão Social* apresentou crescimento entre 2000 e 2010 de 0,52 para 0,62, mas em relação às outras unidades o crescimento foi menos acelerado, fazendo com que caísse da 6ª para 8ª posição. A proporção de alfabetizados entre os respon-

Figura 4.13 - Ocupações humanas na unidade Una. (a) Bairro Paiol; (b) Bairro Pedra Negra; (c) Bairro Santa Luzia; e (d) Bairro Registro

Fonte: (a) e (b) Google (2015); (c) e (d) DigitalGlobe/Google (2016)

sáveis era de 78,8% em 2000 e em 2010 o indicador melhorou para 86,4%. Entre os jovens, a média de alfabetizados apresentou uma pequena melhora de 96,7% para 98,6%. Os indicadores associados às condições de saneamento básico são deficientes, e apenas a coleta de lixo apresentou melhoria. Em 2000, somente 29,8% das pessoas tinham o lixo coletado, mas em 2010 esta proporção melhorou significativamente para 83,5%. O indicador de acesso a água, por sua vez, diminuiu de 38,7 para 23,5 no período, assim como a proporção de pessoas com esgotamento sanitário adequado, que decresceu de 25,6% para 12,0% da população. Tais estatísticas de saneamento, combinadas à ocupação humana de áreas próximas aos rios, colocam em risco a qualidade da água destes importantes mananciais de abastecimento urbano, além de riscos à saúde da população. A proporção de pessoas acima da expectativa média de vida apresentou valores altos quando comparados às demais unidades. Entre os homens a proporção diminuiu de 7,0% para 5,34%, mas aumentou entre as mulheres de 1,5% para 2,6%.

Diferentemente do indicador social, o indicador composto da *dimensão Econômica* diminuiu de 0,58 para 0,57, mas essa diminuição foi menor que para as outras unidades, fazendo com que o Una passasse da 7ª para 5ª posição. A proporção de responsáveis com remuneração acima de 1 sm diminuiu para ambos os sexos, indicando um aumento do emprego informal e insuficiência de renda. Entre os homens a proporção era de 69,6% diminuindo para 60,2%, e entre as mulheres esta proporção era menor, 35,2% decrescendo para 22,7%. A razão de dependência cresceu de 041 para 0,45, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva, em função do envelhecimento da população. O rendimento médio dos responsáveis diminuiu de 3,3 sm para 1,4 sm. Porém o índice de Gini melhorou, apresentando queda de 0,43 para 0,36, e a proporção de domicílios próprios aumentou de 40,5% para 63,57%.

A partir dos mapas RGB dos indicadores compostos, pode-se observar que grande parte do Una, em ambos os anos, apresentam extensas áreas com tons de verdes escuros em função da ausência de coberturas vegetais naturais. Os pontos (A) e (B) apresentam células em preto referentes às áreas de mineração. Em 2000, as regiões com ocupação humana apresentam tons escuros, indicando baixos valores para as ambas as dimensões, Social e Econômica. Em 2010, a região (C), onde localizam-se os bairros Paiol, Pedra Negra e Santa Luzia, apresentou melhora na dimensão Social, e na região (D), onde está o bairro do registro, ambos as dimensões, Social e Econômica, apresentaram valores mais altos. As Figuras 4.13 (a), (b), (c) e (d), mostram as principais ocupações humanas da unidade Una.

4.7 Guaratinguetá 1

A unidade Guaratinguetá 1 possui uma área total de 9.966,3 ha, situada nas encostas da Serra da Mantiqueira, integralmente no município de Guaratinguetá, onde encontra-se o bairro do Gomeral (Imagem 4.15). Sua extensão é definida pela área de contribuição hidrográfica do ponto de captação de água no ribeirão Guaratinguetá, que é o principal manancial de abastecimento urbano do município.

A economia nesta região tem como base a agropecuária, piscicultura e o turismo, principalmente os segmentos ecoturismo, turismo rural e de aventura, devido à sua paisagem de alta montanha, cursos d'água, piscinas naturais e cachoeiras. O bairro possui restaurantes típicos, pousadas, criações de trutas e alguns eventos, dentre os quais se destaca o Festival da Truta do Gomeral (DALE, 2001). A maior parte de sua extensão está sobreposta à APA da Mantiqueira.

Figura 4.14 - Painel de indicadores da unidade Guaratinguetá 1.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.15 - Fotografias da unidade Guaratinguetá 1.

Fonte: Produzido pelo autor.

A unidade Guaratinguetá 1 ocupa a 7ª posição para o indicador sintético da dimensão *Ecológica*, tanto em 2000 como em 2010, marcando 0,59 e 0,58 em 2000 e 2010, respectivamente. A classe de uso e cobertura da terra predominante passou de 'Pasto/Gramíneas', que em 1985 era 45,5% da unidade e, em 2015, 30,9% , para 'Floresta', que representava 36,3% em 1985 e 48,9% em 2015. Não foram mapeadas 'Áreas construídas', 'Minerações' ou 'Florestas monoespecíficas'. Porém, ocupações humanas, associadas a 'Área construída', ocorrem, mas maneira dispersa, e por isso não foram identificadas na escala utilizada.

Foi estimada,para a unidade Guaratinguetá 1, uma população de 433 habitantes em 2000, que aumentou sutilmente para 442 em 2010. Em ambas as datas a população era predominantemente masculina, característica observada em regiões rurais como o bairro do Gomeral. A taxa de crescimento médio anual de 0,2% a.a.. A densidade demográfica era de 4,3 hab/km^2 e passou a 4,4 hab/km^2 em 2010.

O indicador sintético da *dimensão Social* aumentou de 0,63 em 2000, para 0,67 em 2010. Entretanto quando comparada às outras unidades, Guaratinguetá 1 passou da 2ª posição para a 4ª. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – em 2000, 85,3% eram alfabetizados e em 2010 o valor aumentou para 90,4% –, e também entre os jovens – 96,0% para 98,8%. O saneamento básico apresentou deficiências em abrangência, e piorou em dois dos três indicadores entre 2000 e 2010. A cobertura de coleta de lixo era de apenas 52,0%, mas passou a abranger 88,1% no segundo período. Por outro lado, a coleta de esgotos abrangia 73,3% da população em 2000 – uma abrangência alta em relação às outras unidades –, mas passou a abranger somente 34,1% em 2010. O indicador de acesso à água também teve piora de 35,4%

para 27,7%. A proporção de mulheres acima da expectativa de vida manteve-se estável em 1,1%, e entre os homens diminuiu de 6,9% para 6,1%.

A *dimensão Econômica*, por sua vez, apresentou queda para o indicador sintético de 0,64 para 0,59, mas em relação às outras unidades manteve a 4ª posição. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho diminuíram entre 2000 e 2010, para os homens – de 75,2% para 68,6% – e para as mulheres – de 55,8% para 34,8% . Entretanto, a redução foi maior entre as mulheres – -37,7% frente à -8,7% entre os homens –, além das médias entre elas terem sido menores em relação aos homens. Isto indica que a proporção de mulheres que buscam o mercado de trabalho e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e a diferença aumentou ao longo do período. A razão de dependência cresceu de 0,39 para 0,54, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva, em função do envelhecimento da população. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 3,1 sm para 1,5 sm. Porém, o número de domicílios próprios aumentou de 37,2% para 50,0%. Ademais, o coeficiente de Gini, que apresentou valores elevados, indicando má distribuição de renda, melhorou de 0,53 para 0,27.

Pode-se observar, a partir dos mapas em RGB dos indicadores compostos, que a região (A), mais próxima a Serra da Mantiqueira e com declividade mais alta, apresenta valores elevados para o indicador ecológico, em função da predominância de cobertura florestal. A região (A), mais baixa e plana, apresentam valores mais baixos para a dimensão ecológica, por ser coberta por gramíneas e solo exposto, associados, nesta região, à culturas agrícolas. Na região (A), em 2000, a dimensão Econômica e Social apresentam valores intermediários, em equilíbrio, porém com destaque para a Econômica. Em 2010, há um grande aumento do indicador Social e queda do Econômico. A região (B) apresentou, em 2000, tonalidades de magenta, que mostram o equilíbrio entre as dimensões socioeconômicas, e tons próximos ao cinza, onde há equilíbrio também com a dimensão Ecológica. Onde há equilíbrio entre as três dimensões, a ocupação humana ocorre de maneira dispersa em meio a coberturas florestais. Em 2010, o indicador econômico diminuiu, mantendo-se os das outras dimensões, apresentando tonalidades de roxo ao ciano.

4.8 Guaratinguetá 2, Piquete, Cruzeiro, Lavrinhas e Queluz

As unidades *Guaratinguetá 2*, *Piquete*, *Cruzeiro*, *Lavrinhas* e *Queluz* estão geograficamente próximas, localizam-se na encosta da Serra da Mantiqueira e possuem pequena extensão – juntas representam menos de 3% da extensão da APA-MRPS.

Figura 4.16 - Painel de indicadores da unidade Guaratinguetá 2.

Fonte: Produzido pelo autor.

Além disso, possuem coberturas da terra predominantemente florestais, pouca ou nenhuma ocupação humana. Por terem estas características em comum, foram agrupadas para análise.

Estas são as unidades da APA-MRPS que possuem seus recursos naturais mais bem preservados. O indicador composto para a dimensão Ecológica apresentou: 0,92 em 2000 e 2010 (1ª posição em ambas as datas) em *Guaratinguetá 2*; 0,87 em 2000 e diminuiu para 0,83 em 2010 (2ª posição em ambas as datas) em *Cruzeiro*; 0,84 e 0,83

Figura 4.17 - Painel de indicadores da unidade Piquete.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.18 - Painel de indicadores da unidade Cruzeiro.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.19 - Painel de indicadores da unidade Lavrinhas.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.20 - Painel de indicadores da unidade Queluz.

Fonte: Produzido pelo autor.

em 2000 e 2010, respectivamente (3ª posição em ambas as datas) em *Lavrinhas*; 0,80 e 0,79 em 2000 e 2010, respectivamente (4ª posição em ambas as datas) em *Queluz*; e, por fim, 0,72 em 2000 e 2010 (5ª posição em ambas as datas) em *Piquete*. A maior parte do território delas é sobreposto por outra UC da mesma categoria, a APA da Mantiqueira. Seus territórios são cobertos majoritariamente por 'Floresta', especialmente Guaratinguetá 2 e Cruzeiro, que possuíam, respectivamente, 91,2% e 80,9% de cobertura de floresta em 2015. O relevo com declividade elevada restringe o uso da terra e o avanço da ocupação humana por seus territórios. Piquete possuía uma área relativa alta de 'Florestas monoespecíficas' em 1985 de 12,3% (71,7 ha), e que se estendeu para 34,5% (200,8 ha) em 2015, o que representa um crescimento de 180,0% para o período. Em Lavrinhas, as áreas de 'Floresta monoespecífica' também se expandiram – em 1985, eram 47,3 ha e cresceram para 287,6 ha em 2015. Além da floresta plantada identificou-se uma área de 'Mineração' (Figura 4.21 [d]), existente em 1985, que ocupava cerca de 10,2 ha, pertencente à Mineradora Rio do Braço que explora bauxita (ESCOBAR, 2014).

Para as cinco unidades, estimou-se uma população total de 198 habitantes em 2000, e 85 habitantes em 2010. Cruzeiro e Lavrinhas tiveram os maiores números de habitantes, enquanto as demais unidades continham poucos ou nenhum habitante, fazendo com que seus indicadores socioeconômicos fossem pouco representativos. Deve-se considerar ainda que, por se tratarem de áreas em situação rural e de pequenas em extensões, as estatísticas socioeconômicas correspondem a um ou dois setores grandes (rurais), e assim submetidos a uma maior generalização. A unidade Cruzeiro, que é a mais populosa entre as cinco, apresentou uma taxa de crescimento médio anual de -10,3% a.a.. A densidade demográfica era de 6,5 hab/km^2 e passou a 2,2 hab/km^2 em 2010.

Na unidade Cruzeiro, o indicador sintético da *dimensão Social* era de 0,54 em 2000 e piorou para 0,51 em 2010, passando da 5ª para 11ª posição em relação às demais unidades. A proporção de alfabetizados entre os responsáveis era de 85,4% em 2000 e em 2010 houve uma pequena melhora para 87,0%. Entre os jovens, a média de alfabetizados manteve-se em 95,3% em ambos os anos. Os indicadores associados às condições de saneamento básico são deficientes, mas apresentaram algumas melhoras. Apenas 25,5% das pessoas tinham acesso à esgotamento sanitário adequado em 2000, mas em 2010 esta proporção melhorou passando para 71,3%. O indicador de acesso a água, por sua vez, diminuiu de 34,3% para 9,8% no período, e a proporção de pessoas com acesso a lixo coletado teve um pequeno crescimento de 47,3% para 53,0%. A proporção de pessoas acima da expectativa média de vida diminuiu para

Figura 4.21 - Imagens orbitais da (a) unidade Guaratinguetá 2 e Piquete; (b) Cruzeiro; e (c) Lavrinhas e Queluz. (d) Atividade de mineração na unidade Lavrinhas.

Fonte: (a), (b) e (c) DigitalGlobe/Google (2016); (d) Arquivo Mantiqueira Viva (2014).

ambos os sexos, sendo que entre os homens a proporção foi maior do que entre as mulheres. A *dimensão Econômica*, teve o indicador sintético em declínio de 0,63 para 0,48 entre 2000 e 2010, fazendo com que perdesse cinco posições – passou da 5ª para a 10ª posição. Entre os que exerciam atividade remunerada, a proporção dos que ganhavam um salário mínimo ou mais era baixa em 2000 diminuiu em 2010, indicando um aumento do emprego informal e insuficiência de renda. Entre os homens a proporção era de 52,4% diminuindo para 45,7%, e entre as mulheres a proporção foi ainda menor, 35,8% decrescendo para 30,34%. O rendimento dos responsáveis aumentou de 1,4 para 1,6 salários mínimos, entretanto o índice de Gini também teve seu crescimento, indicando que apesar da renda média entre os responsáveis ter aumentado, aumentou também a desigualdade em sua distribuição. O proporção de domicílios próprios diminuiu de 65,0% para 34,6%.

Na unidade Lavrinhas a maioria dos indicadores simples da *dimensão Social* apresentaram melhoras, fazendo com que o indicador composto desta dimensão aumentasse

de 0,44 para 0,62 entre 2000 e 2010, mas, ainda assim caísse da 9ª para 10ª posição. Os responsáveis alfabetizados eram 84,0% em 2000 e 87,8% em 2010. Entre os jovens em idade escolar há uma proporção ainda maior de alfabetizados, que melhorou de 95,9% para 98,0% no período. A proporção de pessoas acima da expectativa aumentou entre os homens e se manteve estável entre as mulheres, mas entre os homens a proporção é maior. As condições de cobertura de saneamento básico são precárias. Em 2000, nenhum domicílio possuía esgotamento sanitário adequado, e em 2010 apenas 12,17%. A cobertura de coleta de lixo melhorou consideravelmente de 27,3% para 84,3% no período. O indicador de acesso a água diminuiu de 44,6 para 5,8, que junto ao da unidade Cruzeiro, é o menor entre as unidades em 2010. A *dimensão Econômica*, por sua vez, teve o indicador sintético estável entre 0,48 e 0,49, em 2000 e 2010, respectivamente, mas em relação às outras unidades melhorou – passou da 11ª para a 9ª posição. Os indicadores, em geral, pioraram no período entre 2000 e 2010. Entre as mulheres, as que ganhavam mais de um salário mínimo eram apenas 38,9% em 2000 e diminuiu para 31,4% em 2010; entre os homens, diminuiu de 58,4% para 54,1%, valores que além de baixos e em diminuição, enfatizam a desigualdade entre os gêneros no mercado de trabalho. A razão de dependência aumentou sensivelmente, enquanto o rendimento médio dos responsáveis diminuiu de 3,0 para 1,3 salários mínimos. Mas apesar da diminuição da renda média, o coeficiente de Gini diminuiu de 0,53 para 0,26, indicando que a renda passou a ser muito melhor distribuída. Inversamente à renda dos responsáveis, o percentual de domicílios próprios cresceu de 17,1% para 46,9%, indicando, nesse sentido, uma maior estabilidade dessa população.

Os mapas RGB dos indicadores sintéticos mostram elevados valores para a dimensão ecológica na maior parte dos territórios. No mapeamento do ano 2000 algumas regiões das unidades de Lavrinhas e Queluz foram classificadas como 'Não observado', pois não haviam imagens livres de nuvens, o que fez com que algumas células ficassem sem informações na dimensão Ecológica. Entretanto, foi possível inferir que as coberturas da terra entre os períodos manteve-se inalterada por meio dos mapeamentos anteriores e pelo contexto geográfico de uma região de alta declividade e com cobertura florestal natural. Em Cruzeiro, as cores das células onde há presença de população em 2000 indicam que as dimensões Social e Econômica estavam em equilíbrio (tons de magenta), porém baixos em relação às demais célula da APA-MRPS (tons escuros). Em 2010, estas células passaram a apresentar tons de cinza e escuros, indicando que ambas dimensões pioraram no período. Por sua vez, na unidade Lavrinhas, as células onde a população estava inserida apresentou valores baixos para as dimensões Social e Econômica em ambos os anos analisados.

4.9 Cachoeira Paulista

A unidade Cachoeira Paulista possui uma área de 27.089,3 ha, que representa cerca de 9% da APA-MRPS, e abrange parte dos municípios de Cachoeira Paulista e Silveiras. Grande parte de seu território é sobreposto pela APA Estadual de Silveiras. Seus limites são definidos pela área de contribuição hidrográfica do ponto de captação de água do rio Bocaina para abastecimento urbano do município de Cachoeira Paulista (Cachoeira Paulista, 2010). A unidade também abriga uma pequena fração do córrego do Fundo que abastece a população do município de Silveiras (SILVEIRAS, 2011).

Na *dimensão Ecológica*, a unidade Cachoeira Paulista apresentou valores baixos para o indicador sintético – 0,43 em 2000 e 0,42 em 2010. Quando comparada às outras unidades, Cachoeira Paulista ocupa a 13ª posição em 2000 e 12ª em 2010. A classe 'Pasto/Gramíneas' predominou em todas as datas entre 1985 e 2015, oscilando entre 60,5% e 39,1%. As regiões com gramíneas dividiam espaço com áreas de 'Solo exposto', que também ocorreram em abundância, indicando a ocorrência de processos erosivos em função da remoção da vegetação natural. A área coberta por *Florestas* aumentou entre 1985 e 2015, de 16,8% para 27,8%, e tal incremento ocorre com maior intensidade entre 2000 e 2015. A classe 'Florestas monoespecíficas' aumentou de 246,2 ha para 1542,0 ha no período analisado. Também foi mapeada uma atividades de extração mineral (Figura 4.23.a), que estava consolidada em 1985. A classe de uso da terra 'Mineração' compreendia, em 1985, uma área de 18,1 ha, e 23,9 em 2015, configurando um crescimento de 32,3% ao longo do período analisado. As 'Áreas construídas' (Figura 4.23.b), que se estendiam por 14,5 ha, cresceram 101,8%, atingindo 29,3 ha em 2015. Porém, a ocupação humana na unidade Cachoeira Paulista ocorre, em sua maioria, de maneira dispersa, o que fez com que o mapeamento, em função de sua escala, não fosse eficiente para a identificação da classe 'Área construída'.

Na unidade Cachoeira Paulista, a população estimada foi de 776 habitantes em 2000, que aumentou para 797 em 2010. Em ambas as datas a população era predominantemente feminina. A taxa de crescimento médio anual de 0,3% a.a.. A densidade demográfica manteve-se em 2,9 hab/km^2, valor baixo quando comparado à APA-MRPS como um todo.

O indicador sintético da *dimensão Social* aumentou de 0,44 em 2000 – 10ª posição entre as unidades – para 0,58 em 2010 – 9ª posição. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – em 2000, 82,1% eram alfabetizados e em 2010 o valor aumentou

Figura 4.22 - Painel de indicadores da unidade Cachoeira Paulista.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.23 - Imagens da unidade Cachoeira Paulista. (a) Atividade de mineração; e (b) Núcleo urbano do bairro dos Macacos em Silveiras.

(a)

(b)

Fonte: (a) DigitalGlobe/Google (2016); (b) Disponível em http://www.panoramio.com/photo/36563343.

para 86,9% –, e também entre os jovens – 96,4% para 97,0%. O saneamento básico possuia cobertura deficiente, mas melhorou em dois dos três indicadores. A cobertura de coleta de lixo beneficiava menos de 10% da população (9,5%), e expandiu para pouco mais da metade das pessoas (50,7%). A cobertura de coleta de esgotos era de apenas 22,3% e aumentou para 54,6%. O indicador de acesso à água foi o único a apresentar decréscimo de 33,6% para 30,9%. A proporção de pessoas acima da expectativa de vida diminuiu para ambos os sexos. O indicador entre os homens é maior que entre as mulheres em ambas as datas.

A *dimensão Econômica*, por sua vez, teve o indicador sintético com pequena melhora de 0,56 em 2000 para 0,59 em 2010, mas com esse aumento ganhou 6 posições em relação às outras unidades – passou da 8ª para a 2ª posição. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho entre os homens aumentou de 69,0% para 70,9% no período de 2000 a 2010. Entretanto, além de apresentar médias mais baixas, para as mulheres o indicador apresentou decremento de 42,7% para 33,3% . Sendo assim, a proporção de mulheres que possuem rendimento e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e o mercado, que foi favorável para os homens, foi desfavorável entre as mulheres. A razão de dependência cresceu de 0,41 para 0,46, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 2,4 sm para 2,0 sm. Porém, o número de domicílios próprios aumentou de 28,1% para 47,2%. Ademais, o coeficiente de Gini, que apresentou valores elevados, indicando má distribuição de renda, melhorou de 0,48 para 0,39.

A partir dos mapas em RGB dos indicadores compostos, pode-se observar que em ambas as datas prevalecem baixos valores do indicador ecológico, em função da predominância de pastagens com solos expostos. A região (A), que corresponde à borda do núcleo urbano de Cachoeira Paulista, apresentou, em 2000, valores altos para a dimensão Social e intermediários para a econômica, e em 2010, valores altos para ambas as dimensões. A região (B) é o bairro dos macacos do município de Silveiras, onde observou-se no primeiro período valores intermediários para os indicadores social e econômico, e no segundo houve uma pequena melhora do indicador social, enquanto o econômico priorou.

4.10 Areias

A unidade Areias está inserida no município de Areias, e compreende, inclusive, seu núcleo urbanizado. Sua extensão é de 4.452,7 ha, que representa apenas 1,5% da APA-MRPS. A unidade protege o ribeirão Vermelho e seus afluentes, os quais são responsáveis pelo abastecimento urbano do município de Areias (AREIAS, 2010), e que, mais a montante, flui para o reservatório do Funil no Rio de Janeiro. A economia na unidade baseia-se nos setores de serviço e agropecuária (AREIAS, 2010). Na agricultura destaca-se a produção de milho e laranja, e na pecuária o rebanho bovino (IBGE, 2006).

A unidade Areias tem o segundo menor valor para o indicador sintético da *dimensão Ecológica*, marcando 0,40 em 2000 e 2010. A classe 'Pasto/Gramíneas' predominou em todas as datas entre 1985 e 2015, oscilando entre 42,0% e 64,4% (Figura 4.25.a). As regiões com gramíneas dividiam espaço com áreas de 'Solo exposto', que também ocorreram em abundância, indicando a ocorrência de processos erosivos em função da remoção da vegetação natural. A área coberta por 'Florestas' decresceu entre 1985 e 1991, de 15,8% para 6,8%, mas em seguida há um aumento contínuo desta classe de cobertura, atingindo 24,8% da área em 2015. A classe 'Florestas monoespecíficas' foi pouco representativa, mas aumentou de 38,7 ha para 114,7 ha no período analisado. A 'Área construída', referente ao núcleo urbano do município de Areias (Figura 4.25.b), em 1985 se estendia por 11,0 ha, que representava 0,25% da unidade, e cresceu até atingir 64,7 ha em 2015, passando a representar 1,4%.

Em Areias, foi estimada uma população de 2.548 habitantes em 2000, que aumentou para 2.652 em 2010. Em ambas as datas a população era predominantemente feminina, característica observada em regiões urbanas. A taxa de crescimento médio anual de 0,4% a.a.. A densidade demográfica era de 57,2 hab/km^2 e passou a 59,6 hab/km^2 em 2010.

Figura 4.24 - Painel de indicadores da unidade Areias.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.25 - Fotografias da unidade Areias. (a) Área de pastagem; e (b) Sede municipal.

(a)

(b)

Fonte: (a) Google (2015); (b) Disponível em http://www.panoramio.com/photo/7590241.

O indicador sintético da *dimensão Social* aumentou de 0,55 em 2000 – 4ª posição entre as unidades – para 0,71 em 2010 – 2ª posição. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – em 2000, 81,7% eram alfabetizados e em 2010 o valor aumentou para 90,7% –, e também entre os jovens – 93,2% para 97,3%. O saneamento básico apresentou deficiências em abrangência, mas melhorou nos três indicadores entre 2000 e 2010. A cobertura de coleta de lixo era de apenas 44,1%, e cresceu para 68,6%. A coleta de esgotos é ainda mais deficiente – a cobertura era de apenas 35,7% e aumentou para 45,3%. O indicador de acesso à água também teve melhora de 45,8% para 48,8%. Além disso as métricas das condições de saneamento apresentaram altos valores de dispersão, o que indica, ainda, desigualdade de acesso da população à coleta de lixo e esgoto, e abastecimento de água entre regiões distintas da unidade. A proporção de mulheres acima da expectativa de vida aumentou, e entre os homens diminuiu. O indicador entre os homens é maior que entre as mulheres em ambas as datas.

A *dimensão Econômica*, por sua vez, teve o indicador sintético estável em 0,56 em ambos as datas, mas em relação às outras unidades melhorou – passou da 9ª para a 8ª posição. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho diminuíram entre 2000 e 2010, para os homens – de 63,7% para 57,6% – e para as mulheres – de 39,3% para 32,4% . Entretanto, a redução foi maior entre as mulheres – -17,7% frente à -9,8% entre os homens –, além das médias entre elas terem sido menores em relação aos homens. Isto indica que a proporção de mulheres que buscam o mercado de trabalho e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e a diferença aumentou ao longo do período. A razão

de dependência cresceu de 0,43 para 0,52, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 3,1 sm para 1,7 sm. Porém, o número de domicílios próprios aumentou de 49,6% para 58,4%. Ademais, o coeficiente de Gini, que apresentou valores elevados, indicando má distribuição de renda, melhorou de 0,56 para 0,36.

Pode-se observar, a partir dos mapas em RGB dos indicadores compostos, que em ambas as datas prevalecem baixos valores do indicador ecológico, em função da predominância de pastagens e solos expostos. Na região (A) é onde se encontram células com valores mais elevados para a dimensão ecológica. Em 2000, a unidade Areias não possuía informações em parte do território, onde concentrava menos domicílios (B), a fim de proteger os dados dos informantes. [6] Em 2010, a região (B) apresentou tons escuros de roxo, indicando valores relativamente baixos e equilibrados entre os indicadores social e econômico. A região (C), apresentou valores equilibrados e intermediários para os indicadores social e econômico no primeiro período, e no seguinte, há uma melhora do indicador social, enquanto o econômico se mantém, fazendo com que destacassem tons azuis mais fortes.

4.11 São José do Barreiro e Bananal

As unidades Bananal e São José do Barreiro estão integralmente inseridas nas áreas rurais dos municípios que dão nome às unidades. São as duas unidades da APA-MRPS localizadas mais a jusante da porção paulista da BHPS. São José do Barreiro possui a menor área entre as unidades (422,6 ha), enquanto Bananal é mais representativo em extensão (4.945,68 ha). O limite da unidade Bananal é delimitado pela área de contribuição hidrográfica a montante do ponto de captação de água do rio Bananal para o abastecimento urbano do município de mesmo nome. O rio é um dos principais afluentes do RPS, responsável por abastecer, além da população de Bananal, o município de Barra Mansa no estado do Rio de Janeiro, situado mais a jusante (AGEVAP, 2007; São José do Barreiro, 2012). O único corpo d'água na unidade São José do Barreiro é o Ribeirão da Palmeiras, que, diretamente, não abastece nenhum município, mas é um afluente do rio Barreiro que, entre outros corpos d'água, alimenta o reservatório do Funil no Rio de Janeiro.

A economia da região destas unidades baseia-se no turismo histórico-cultural e rural, e consequentemente, nos setores de serviços e comércio que giram em torno destes

[6] Todos os setores censitários com menos de cinco domicílios particulares permanentes tiveram os valores da maioria das variáveis omitidos pelo IBGE (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

(São José do Barreiro, 2012; BANANAL, 2012). A unidade abriga em seus limites hotéis fazenda, pousadas, restaurantes e campings, localizados às margens da Estrada do Sertão (SP-247). A Figura 4.28 mostra uma fotografia da unidade Bananal vista do alto da Serra da Bocaina.

A unidade Bananal apresentou melhora do indicador sintético da *dimensão Ecológica*, passando de 0,63 em 2000 para 0,67 em 2010, mantendo a 6ª posição entre as unidades. As 'Florestas' eram a classe predominante desde 1985, quando representavam 40,4% da extensão da unidade, e expandiram, gradativamente, para 58,1% em 2015 – crescimento de 43,9% no período. Por sua vez, as áreas de 'Gramíneas' que representavam 39,5% em 1985, deram lugar à regeneração das florestas, passando a representar 26,0% em 2015. Não foram mapeadas 'Áreas construídas'. As 'Florestas monoespecíficas' somente estiveram presentes a partir de 2010, quando passaram a ocupar 58,9 ha e em 2015 64,9 ha.

Na unidade São José do Barreiro, o indicador ecológico apresentou uma pequena melhora de 0,49 para 0,50 entre 2000 e 2010, mantendo a 9ª posição entre as unidades. A cobertura da terra predominante era gramíneas, para todas as datas. A classe 'Floresta' decresceu de 28,6% para 16,1% entre 1985 e 1991, desde então as florestas se regeneraram até atingir 39,4% em 2015. Nesta unidade, não foram mapeadas 'Áreas construídas' e nem 'Florestas monoespecíficas'.

Estimou-se, para a unidade Bananal, uma população de 264 habitantes em 2000, que diminuiu para 212 habitantes em 2010, que representa uma taxa de crescimento médio anual de -2,17% a.a.. Em ambas as datas a população era predominantemente masculina, que é uma característica de regiões rurais. A densidade demográfica era de 5,3 hab/km^2 e passou a 4,3 hab/km^2 em 2010. Na unidade São José do Barreiro, não há população humana inserida, dispensando, portanto, a análise dos indicadores das dimensões associadas.

De maneira geral, as condições indicadas pela *dimensão Social* melhoraram para a população inserida na unidade Bananal. O indicador sintético da dimensão Social passou de 0,42 em 2000 – 11ª posição entre as unidades – para 0,63 em 2010 – 7ª posição. A alfabetização melhorou entre os responsáveis – em 2000, 82,2% eram alfabetizados e em 2010 o valor aumentou para 89,5% –, e também entre os jovens – 95,4% para 97,7%. A cobertura de coleta de lixo, praticamente inexistente em 2000, com apenas 2,6%, aumentou para 78,5% em 2010. A abrangência do esgotamento sanitário adequado manteve-se inexistente, cobrindo 3,12% da população em 2000 e 3,45% em 2010. O indicador de acesso à água apresentou valores baixos e foi o

Figura 4.26 - Painel de indicadores da unidade Bananal.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.27 - Painel de indicadores da unidade São José do Barreiro.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4.28 - Imagens da unidade Bananal. (a) Fotografia vista da Serra da Bocaina; e (b) imagem orbital de atividades de silvicultura.

(a)

(b)

Fonte: (a) Disponível em http://www.panoramio.com/photo/27066850; (b) DigitalGlobe/Google (2016)

único a decrescer, com 27,7% em 2000 e 12,4% em 2010. Entre as unidades, Bananal apresenta os piores indicadores de esgotamento sanitário (juntamente à Lavrinhas), e de abastecimento de água. A proporção de pessoas acima da expectativa de vida aumentou para ambos os sexos. O indicador entre os homens é maior que entre as mulheres em ambas as datas, e é alto em relação às outras unidades.

A *dimensão Econômica*, por sua vez, teve queda no indicador sintético de 0,54 para 0,45 no período, fazendo a unidade passar da 10ª para a 11ª posição. Os indicadores de acesso ao mercado de trabalho diminuíram entre 2000 e 2010, para os homens – de 67,5% para 44,0% – e para as mulheres – de 36,3% para 19,6% . Entretanto, a redução foi maior entre as mulheres – -46,0% frente à -34,7% entre os homens –, além das médias entre elas terem sido menores em relação aos homens. Isto indica que a proporção de mulheres que buscam o mercado de trabalho e são remuneradas com pelo menos um salário mínimo é menor que entre os homens, e a diferença aumentou ao longo do período. A razão de dependência cresceu de 0,39 para 0,55, que indica um aumento do contingente populacional inativo (crianças e idosos) a ser sustentado pela população produtiva. O rendimento médio do responsável diminuiu no período de 2,6 sm para 2,0 sm. Porém, o número de domicílios próprios aumentou de 37,2% para 57,1%. Ademais, o coeficiente de Gini, que apresentou valores elevados, indicando má distribuição de renda, melhorou de 0,56 para 0,38.

Nos mapas RGB dos indicadores compostos da unidade Bananal, pode-se observar que as células de tons escuros de verde, onde a dimensão Ecológica é mais baixa

por predominarem 'Pasto/Gramíneas', seguem um padrão às margens da Estrada do Sertão e do rio Bananal. As regiões ocupadas apresentavam tons escuros e avermelhados em 2000. Em 2010, destacam-se os tons de azul, devido a uma melhora sensível do indicador social, enquanto o econômico apresentou queda. Em São José do Barreiro, em ambas as datas a situação é bastante similar, a região a montante (sul) apresenta valores mais altos para o indicador ecológico, onde predomina a cobertura de 'Florestas' e a jusante, mais próximo à sede municipal, 'Pasto/Gramíneas' predominam.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs construir um sistema de indicadores espacialmente explícito, que auxiliasse o diagnóstico socioeconômico e ambiental da APA-MRPS, de modo a fornecer ferramentas para monitorar e avaliar esta UC. O sistema, intitulado **iSAM**, consistiu em um conjunto de indicadores, construídos a partir de dados de sensoriamento remoto e dados censitários, que identifica e localiza no espaço as condições de proteção dos mananciais, a partir de suas relações com o uso e cobertura da terra, e os diferenciais sócio-demográficos da população residente da APA-MRPS.

O modelo conceitual tomou como base os elementos das definições normativas da APA-MRPS, que incorpora os objetivos da unidade de conservação e apresentou uma proposta metodológica para sua operacionalização através da constituição de um sistema de indicadores – o **iSAM**, e um conjunto de representações espacialmente explícitas que constituem uma cartografia integrada para o monitoramento e planejamento territorial da unidade de conservação.

Este estudo demonstrou que o sistema de indicadores proposto – o **iSAM**, possibilitou a elaboração do diagnóstico socioambiental da APA-MRPS, levando em conta suas especificidades, e permitindo distinguir os diferentes contextos sociais, econômicos e ecológicos de suas distintas unidades. Com o diagnóstico foi possível verificar que no momento de criação da APA-MRPS, sua cobertura florestal natural - característica do bioma Mata Atlântica - havia sido removida, e as manchas urbanas e atividades mineradoras estavam instaladas. Desde então, parte das extensas áreas desmatadas foram subutilizadas, e vêm se regenerando, dando lugar a novas florestas em estágio inicial e médio de regeneração. Entretanto, a criação da APA não limitou a expansão das áreas urbanas, das atividades mineradoras e das áreas de florestas plantadas. Isso se deve à falta de implementação da gestão e do manejo da APA-MRPS, uma vez que a UC ainda não possui plano de manejo e monitoramento sistemático adequados. Os resultados apontaram que, entre as unidades da APA-MRPS, as que melhor cumprem a função ecológica de protegem os mananciais são Guaratinguetá 2, Cruzeiro, Lavrinhas, Queluz, Piquete e Bananal, respectivamente. Estas unidades situam-se nas encostas das serras da Mantiqueira e da Bocaina, onde a topografia restringe a maioria dos usos da terra. Em relação às populações humanas inseridas na APA, a unidade do Putim se destaca por apresentar, em ambas as datas analisadas, as melhores condições sociais e econômicas, mas também as piores condições da paisagem para a proteção dos recursos hídricos. Em menores proporções em relação à unidade Putim, as unidades de Monteiro Lobato e Guaratinguetá

1 também apresentam boas condições sociais e econômicas. Observando a dinâmica entre 2000 e 2010: *a*) na dimensão Ecológica, Bananal, Paraibuna e Jaguari foram as que mais evoluíram, e Una, Cruzeiro e Putim as que mais pioraram; *b*) na dimensão Econômica, Cachoeira Paulista e Lavrinhas foram as únicas a melhorar, e as que mais pioraram foram Cruzeiro, Bananal e Jaguari; e *c*) na dimensão Social, por outro lado, apenas a unidade Cruzeiro retrocedeu, e as que mais evoluíram foram Bananal, Paraibuna, Cachoeira Paulista e Areias.

O declínio geral dos indicadores econômicos observado entre 2000 e 2010 pode ter sido influenciado pela escolha do salário mínimo como referência monetária, uma vez que o salário mínimo apresentou um grande aumento entre 2000 e 2010. Em trabalhos futuros, será necessário analisar novas unidades monetárias para melhorar a comparabilidade dos indicadores entre as datas analisadas.

O uso da metodologia proposta permite afirmar que em nenhuma das unidades se observou o equilíbrio desejado entre a preservação da função ecológica relativa aos mananciais e as possibilidades de desenvolvimento social das populações na bacia e seu entorno. Este equilíbrio, na prática, representa a utopia necessária para a construção de um modelo de desenvolvimento urbano socialmente justo e ambientalmente repensável, para o qual os instrumentos propostos nesta dissertação podem ajudar, ao iluminar estes desequilíbrios e assim apoiar a constituição de um planejamento ambiental de base territorial que não esqueça o componente populacional em sua abordagem.

Infelizmente, no Brasil, os métodos sistemáticos de monitoramento de UCs mais utilizados são voltados para: biodiversidade, recursos naturais ou para avaliação e monitoramento da efetividade de gestão com ênfase na avaliação do papel do estado no controle do SNUC. Essas ferramentas não consideram os objetivos mais amplos das UCs estabelecidos pelo SNUC, associados à sustentabilidade e suas múltiplas dimensões. Também não mostram como a sociedade está sendo atingida ou beneficiada pela criação e gestão das UCs (MARINELLI, 2011). Nesse sentido, o **iSAM** apresenta um método sistemático de monitoramento alternativo àqueles atualmente em uso, para avaliação e monitoramento das UCs brasileiras. A abordagem utilizada para concepção do **iSAM** é original por: considerar um conjunto de indicadores para o monitoramento, adaptado aos objetivos, características biológicas e socioeconômicas, usos e pressões particulares, de modo a considerar os objetivos e valores específicos da UC, sua concepção, que discute sua função ecológica de proteção do recurso água e suas características socioeconômicas e demográficas como elementos interagentes,

parte dos processos que regem a dinâmica deste espaço protegido e, assim, permitir identificar e localizar no espaço os diferenciais sociais, econômicos e ecológicos da APA-MRPS, de modo a evitar uma generalização dos diversos contextos existentes. No entanto, essa metodologia não foi elaborada para substituir as iniciativas em curso. Pelo contrário, deve ser utilizada como instrumento complementar às mesmas, com fins de apoio aos gestores e ampliação do conhecimento sobre a APA-MRPS.

Apesar de sua concepção considerar as particularidades da APA-MRPS, o arcabouço conceitual e metodológico criado neste trabalho, com adaptações, pode ser utilizado para a construção de outros sistemas de indicadores no contexto do monitoramento e planejamento territorial de outras áreas protegidas.

Em um primeiro momento, espera-se que este estudo seja útil para amparar e agilizar a elaboração e implementação do plano de manejo da APA-MRPS. Em um momento futuro, quando o plano de manejo estiver criado, a expectativa é de que o **iSAM** seja útil para o monitoramento e avaliação da efetividade da gestão, de modo fornecer informações qualificadas sobre a APA, promovendo o manejo adaptativo, aperfeiçoando o planejamento, verificando a eficiência da UC em atingir seus objetivos, além de assistir na alocação de recursos. Espera-se ainda que este trabalho contribua para dar visibilidade à esta APA, promovendo a identificação e o engajamento da população local, para que as pessoas que nela residem sejam parte das estratégias de conservação e monitoramento deste espaço, e assim, ampliem-se as chances de se implementar com sucesso as ações de manejo (OSTROM; NAGENDRA, 2006; BENSUSAN, 2006).

E finalmente, neste trabalho apresentam-se as informações iniciais necessárias para a sua reprodução. Todos os dados utilizados são abertos e disponíveis na rede mundial, bem como a maioria das ferramentas computacionais. O esforço a ser feito para a implementação e utilização operacional do **iSAM**, junto ao órgão gestor da APA-MRPS, o ICMBio, concerne à capacitação dos recursos humanos para sua atualização e adaptações.

Sugestões para trabalhos futuros:

O mapeamento realizado teve como propósito fazer uma análise histórica do uso e cobertura da terra, e, portanto, as únicas imagens de SR disponíveis eram as da série Landsat. Entretanto, o mapeamento dos usos e coberturas da terra utilizando imagens com resolução espacial mais alta podem ser vantajosos para o monitoramento, manejo e gestão da UC, pois permitiriam: analisar com maior precisão os processos

e dinâmicas em curso; mapear classes como 'Culturas agrícolas', que ocorrem em extensões reduzidas na UC; mapear 'Áreas construídas' que seguem padrões dispersos na paisagem; e identificar a abertura de novas estradas. Nesse sentido, será interessante, em etapas futuras, que se avalie a capacidade das imagens de SR dos sensores Multiespectral Regular (MUX) integrado ao Pancromático e Multiespectral (PAN) a bordo do satélite sino-brasileiro CBERS-4, que possuem resoluções espaciais mais altas, em apoiar no monitoramento e avaliação em áreas protegidas, em comparação e de forma integrada aos dados Landsat.

As relações entre o uso e cobertura da terra e a proteção dos recursos hídricos foram estabelecidas com base em consensos gerais encontrados na literatura. Entretanto, estas relações variam de lugar para lugar, em função das características da vegetação, solo, relevo, clima, entre outros fatores. Portanto, pode ser útil modelar estatisticamente estas relações na BHPS, tanto para avançar no conhecimento sobre estas relações especificamente na área de estudo, como para melhorar a capacidade do **iSAM** de indicar situações em que o uso e cobertura da terra é conflitante com o objetivo de proteger os mananciais.

As dimensões Social e Econômica apresentadas neste trabalho, apoiam-se em dados levantados nos censos demográficos realizados pelo IBGE a cada decênio, de maneira a suprir a necessidade de realizar análises sócio-demográficas sem que seja preciso o levantamento de dados de campo. Entretanto, a melhor metodologia para um estudo detalhado de populações humanas em UCs, pressupõe a necessidade de pesquisas de campo, onde se levanta *in situ* informações sobre a população residente (SOUZA, 2004). Estudos futuros, que visem aprofundar o conhecimento acerca da população inserida na APA-MRPS podem valer-se de levantamentos do tipo, principalmente em datas entre os censos demográficos, aumentando a periodicidade do sistema.

Além de possíveis refinamentos para a metodologia proposta, uma vez que o escopo deste trabalho limitou-se a estudos preliminares para a APA-MRPS através do diagnóstico socioambiental baseado na interpretação do **iSAM**, as informações produzidas neste estudo podem e devem ser analisadas com maior detalhamento em trabalhos futuros e em possíveis parcerias com o órgão gestor da APA-MRPS, o ICMBio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEVAP. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Resende, RJ: [s.n.], 2007. 73, 77, 85, 111

_____. **Plano integrado de resursos hídricos da bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes**. Resende, RJ: COHIDRO, 2014. 226 p. 1, 21, 75, 77

Agra Filho, S. S. Política ambiental e gestão ambiental. In: CALIJURI, M. D. C.; CUNHA, D. G. F. (Ed.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. cap. 27, p. 695–715. 23

AGUIAR, A. P.; ANDRADE, P. R.; FERRARI, P. G. Preenchimento de Células. **Publicação interna**, INPE/DPI, São José dos Campos, 2008. 63

ALBERTI, M. The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. **International Regional Science Review**, v. 28, n. 2, p. 168–192, apr 2005. ISSN 0160-0176. Disponível em: <http://irx.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0160017605275160>. 17

ALBERTI, M.; BOOTH, D.; HILL, K.; COBURN, B.; AVOLIO, C.; COE, S.; SPIRANDELLI, D. The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: An empirical analysis in Puget lowland sub-basins. **Landscape and Urban Planning**, v. 80, n. 4, p. 345–361, may 2007. ISSN 01692046. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204606001277>. 17

ALLAN, J. D. Landscapes and Riverscapes : The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, n. 2004, p. 257–284, 2004. 17, 18, 47, 156

AMARAL, S. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira**. 166 p. Tese (Tese (Doutorado)) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 61

AMARAL, S.; GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Using remote sensing and census tract data to improve representation of population spatial distribution: case studies in the Brazilian Amazon. **Population and Environment**, v. 34, n. 1, p. 142–170, mar 2012. ISSN 0199-0039. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11111-012-0168-2>. 61

ANA. **Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2015. 1–43 p. 27

ANAZAWA, T. M. **Vulnerabilidade e território no litoral norte de São Paulo: indicadores, perfis de ativos e trajetórias**. 190 p. Tese (Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CB8UHH>. 56, 61, 67, 148, 151

AREIAS. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Areias**. Areias: Prefeitura Municipal de Areias / Governo do Estado de São Paulo, 2010. 203 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}AREIAS.pdf>. 108

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J.; BLASCHKE, T.; GRIESEBNER, G. (Ed.). **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12–23. 34, 35

BANANAL. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Bananal**. Bananal: Prefeitura Municipal de Bananal / Governo do Estado de São Paulo, 2012. 215 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}BANANAL.pdf>. 112

BELLEN, H. M. van. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005. 256 p. 28

BENSUSAN, N. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 176 p. 2, 7, 10, 11, 119

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Elsevier B.V., v. 65, n. 1, p. 2–16, jan 2010. ISSN 09242716. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271609000884>. 14, 33

BOYLE, S. a.; KENNEDY, C. M.; TORRES, J.; COLMAN, K.; PÉREZ-ESTIGARRIBIA, P. E.; SANCHA, N. U. de la. High-resolution satellite imagery is an important yet underutilized resource in conservation biology. **PloS one**, v. 9, n. 1, p. e86908, jan 2014. ISSN 1932-6203. Disponível em:

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3900690{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=abstract>. 2, 14

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M.; MILTON, S.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia embiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p. 19

BRAGA, B. P. F.; FLECHA, R.; PIENA, D. S.; KELMAN, J. Pacto federativo e gestão de águas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 17–42, 2008. 1, 79

BRASIL. Decreto-lei n. 1.413, de 14 de agosto de 1975. In: **1Coleção de Leis do Brasil**. Brasil: [s.n.], 1975. v. 5, p. 12. 23

_____. Decreto nÂº 76.389, de 3 de outubro de 1975. In: **Coleção de Leis do Brasil**. Brasil: [s.n.], 1975. v. 8, p. 58. Disponível em: <http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaNormas.action?numero=76389{&}tipo{_}norma=DEC{&}data=19751003{&}link=s>. 23

_____. Decreto n. 87.561, de 13 de setembro de 1982. Dispõe sobre as medidas de recuperação e proteção ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e dá outras providências. In: **Coleção de Leis do Brasil**. [S.l.: s.n.], 1982. v. 6, p. 221. 2, 23, 25, 27

_____. **SNUC Sistema Nacional de Unidades de conservação: texto da Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 e vetos da presidência da República ao PL aprovado pelo congresso Nacional**. 2Âª. ed. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000. 76 p. 1, 5, 6, 7, 11, 27, 139

_____. **Relatório Parametrizado: Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Brasil: [s.n.], 2010. Disponível em: <http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio{&}relatorioPadrao=true{&}idUc=1521>. 23

BROCKERHOFF, E. G.; JACTEL, H.; PARROTTA, J. A.; QUINE, C. P.; SAYER, J. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? **Biodiversity and Conservation**, v. 17, n. 5, p. 925–951, may 2008. ISSN 0960-3115. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10531-008-9380-x>. 46, 154

Cachoeira Paulista. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Cachoeira Paulista**. Cachoeira Paulista: Prefeitura Municipal de Cachoeira

Paulista / Governo do Estado de São Paulo, 2010. 231 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}CACHOEIRA{_}PAULISTA.pdf>. 105

CARMO, R. L. do. **A água é o limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo**. 194 p. Tese (Tese (doutorado)) — Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2001. 1

CARNEIRO, T. G. D. S.; ANDRADE, P. R. D.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; PEREIRA, R. R. An extensible toolbox for modeling nature-society interactions. **Environmental Modelling and Software**, Elsevier Ltd, v. 46, p. 104–117, 2013. ISSN 13648152. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.002>. 63

CEEIVAP. **Diretrizes de Ordenamento de Uso do Solo: Macro Zoneamento: Síntese do Relatório n. 5**. Comitê Especial de Estudos Integrados da Bacia do Rio Paraíba do Sul - CEEIVAP, 1980. 27 p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23962{_}v2.pdf>. 24, 27

CLARK, M. L.; ROBERTS, D. A.; EWEL, J. J.; CLARK, D. B. Estimation of tropical rain forest aboveground biomass with small-footprint lidar and hyperspectral sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 11, p. 2931–2942, nov 2011. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425711001404>. 14

CMMAD. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991. 71 p. 28

CNUD. **Agenda 21**. Rio de Janeiro: Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1992. 472 p. 28

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P. de; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. d. S.; DUTRA, L. M. M.; Da Rocha, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11-12, p. 3737–3752, jun 2016. ISSN 0930-7575. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00382-015-2800-1>. 1

COLBY, J. D. Topographic Normalization in Rugged Terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, n. 5, p. 531–537, 1991. ISSN 0099-1112. 33

CONGALTON, R. G. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, n. 12, p. 1671–1678, 1983. 39

_____. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. October 1990, p. 35–46, 1991. ISSN 00344257. 39

_____. of Wildland Fire and other spatial information. **International Journal of Wildland Fire**, v. 10, n. February, p. 321–328, 2001. ISSN 10498001. 39, 42

DALE, P. J. **Novas dimensões da ruralidade: turismo e desenvolvimento territorial**. Tese (Dissertação de Mestrado) — Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2001. 93

D'ANTONA, Á. d. O.; BUENO, M. d. C. D.; DAGNINO, R. d. S. Estimativa da população em unidades de conservação na Amazônia Legal brasileira – uma aplicação de grades regulares a partir da Contagem 2007. **Revista Brasileira de Estatisticas Populacionais**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 2, p. 401–428, 2013. 61

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 484 p. 68

DEGUIGNET, M.; JUFFE-BIGNOLI, D.; HARRISON, J.; MACSHARRY, B.; BURGESS, N.; KINGSTON, N. **2014 United Nations List of Protected Areas**. Cambridge: [s.n.], 2014. 33 p. ISBN 9789280734. Disponível em: <http://wdpa.s3.amazonaws.com/WPC2014/2014{_}UN{_}LIST{_}REPORT{_}EN.pdf>. 5

DIEGUES, A. C. S. **O mito moderno da natureza intocada**. 6. ed. São Paulo: Hucitec, 2008. 198 p. ISBN 8527103451. 10, 11

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 186 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>. 58

DUDLEY, N. (Ed.). **Guidelines for applying protected area management categories**. Gland, Switzerland: IUCN, 2008. 86 p. ISBN 9782831716367. 5

DUDLEY, N.; STOLTON, S. **Running pure: the importance of forest protected areas to drinking water. The Arguments for Protection Series.** United Kingdom: [s.n.], 2003. 112 p. ISBN 2-88085-262-5, 978-2-88085-262-7. 17

ERVIN, J. **WWF: Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM)**. Gland, Switzerland: [s.n.], 2003. 70 p. 9

ESCOBAR, H. **Mineração preocupa na Serra da Mantiqueira**. 2014. Disponível em: <http://ciencia.estadao.com.br/blogs/herton-escobar/mineracao-preocupa-na-serra-fina/{#}>. 102

FAO. **Land Cover Classification System**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. 31

FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, M. C. de. Avaliação de desempenho de atributos estatísticos e texturais em uma classificação de cobertura da terra baseada em objeto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 18, n. 2, p. 302–326, 2012. 34

FRASER, R.; OLTHOF, I.; POULIOT, D. Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier B.V., v. 113, n. 7, p. 1397–1409, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000583>. 2, 9

Freire Junior, J.; MEDEIROS, C. N. de; SULIANO, D. C.; CARVALHO, E. B. S.; MAGALHÃES, E. B. S.; Trompiere Neto, N. **Entendendo os principais indicadores sociais e econômicos**. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE, 2010. ISBN 9788598664156. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ENTENDENDO{_}OS{_}PRINCIPAIS{_}INDICADORES{_}SOCIAIS{_}E{_}ECONOMICOS.pdf>. 143, 149

GAVLAK, A. A. **Padrões de mudança e cobertura da terra e dinâmica populacional no distrito florestal sustentável da BR-163: População, Espaço e Ambiente**. 155 p. Tese (Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3A7C3ML>. 61

GONÇALVES, M. P.; BRANQUINHO, F. T. B.; FELZENSZWALB, I. Uma análise contextual do funcionamento efetivo e participação popular em uma unidade de conservação: o caso da área de proteção ambiental de Petrópolis (Rio de Janeiro: Brasil). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 2, p. 323–334, 2011. 12

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 3. ed. Berlin/Heidelberg: Prentice Hall, 2010. 976 p. ISBN 013168728X. 34

GROSS, D.; DUBOIS, G.; PEKEL, J.-F.; MAYAUX, P.; HOLMGREN, M.; PRINS, H.; RONDININI, C.; BOITANI, L. Monitoring land cover changes in African protected areas in the 21st century. **Ecological Informatics**, Elsevier B.V., v. 14, p. 31–37, mar 2013. ISSN 15749541. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1574954112001197>. 2

HAEST, B.; THOONEN, G.; BORRE, J. V.; SPANHOVE, T.; DELALIEUX, S.; BERTELS, L.; KOOISTRA, L.; SCHEUNDERS, P.; EUROPE, I. An Object-Based Approach to Quantity and Quality Assessment of Heathland Habitats in the Framework of Natura 2000 Using Hyperspectral Airborne AHS Images. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XXXVIII, n. 4/C7, p. 1 – 6, 2010. ISSN 16821750. 14

HANTSON, S.; CHUVIECO, E. Evaluation of different topographic correction methods for landsat imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Elsevier B.V., v. 13, n. 5, p. 691–700, 2011. ISSN 15698432. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2011.05.001>. 33

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. **Object-Based Image Analysis SE - 4**, p. 75–89, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9{_}4>. 14, 33

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, n. 2, p. 73–84, 1998. ISSN 1413-8123. 54, 55, 144, 146

HEROLD, M.; ROBERTS, D. a.; GARDNER, M. E.; DENNISON, P. E. Spectrometry for urban area remote sensing - Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3-4, p. 304–319, jun 2004. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425704000768>. 39

HOCKINGS, M.; STOLTON, S.; LEVERINGTON, F.; DUDLEY, N.; COURRAU, J. **Evaluating Effectiveness: A framework for assessing**

management effectiveness of protected areas. 2. ed. Gland, Switzerland and Cambrige, UK: IUCN, 2006. 105 p. ISBN 2-8317-0939-3. 7, 9

IBASE. **Parque Nacional da Tijuca: Integrando proteção ambiental e participação social em áreas urbanas**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas, 2006. 34 p. 13

IBGE. **Censo Demográfico 2000: Agregado por Setores Censitários dos Resultados do Universo**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000. 111, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152

_____. **Censo Agropecuário: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2006. ISBN 0103-6157. 89, 108

_____. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. 50, 51, 58, 77, 89, 111, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152

_____. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2015. 352 p. ISSN 0717-6163. ISBN 978-85-240-4347-5. 53, 54, 55, 56, 57, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 152

_____. **Grade estatística**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016. 31 p. 51

INPE. **TerraView**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terraview/>. 63, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159

JANNUZZI, P. d. M. **Indicadores sociais no Brasil - Conceitos, Fontes de Dados e Aplicações**. 5. ed. Campinas: Editora Alínea, 2012. 160 p. 7, 8, 56, 141, 142, 148, 150, 151

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2007. 592 p. (Prentice Hall series in geographic information science). ISBN 9780131889507. 14, 15, 66

JONES, D. a.; HANSEN, A. J.; BLY, K.; DOHERTY, K.; VERSCHUYL, J. P.; PAUGH, J. I.; CARLE, R.; STORY, S. J. Monitoring land use and cover around parks: A conceptual approach. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier Inc., v. 113, n. 7, p. 1346–1356, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000480>. 10

KAHLE, D.; WICKHAM, H. ggmap: Spatial Visualization with ggplot2. **The R Journal**, v. 5, n. 1, p. 144–161, 2013. Disponível em: <http://journal.r-project.org/archive/2013-1/kahle-wickham.pdf>. 62

KENNEDY, R. E.; TOWNSEND, P. a.; GROSS, J. E.; COHEN, W. B.; BOLSTAD, P.; WANG, Y.; ADAMS, P. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier Inc., v. 113, n. 7, p. 1382–1396, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000601>. 2, 10

LANGFORD, M.; HARVEY, J. The use of remotely sensed data for spatial disaggregation of published census population counts. In: **IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (Cat. No.01EX482)**. IEEE, 2001. p. 260–264. ISBN 0-7803-7059-7. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=985892>. 61

LEVERINGTON, F.; COSTA, K. L.; COURRAU, J.; PAVESE, H.; NOLTE, C.; MARR, M.; COAD, L.; BURGESS, N.; BOMHARD, B.; HOCKINGS, M. **Management effectiveness evaluation in protected areas - a global study Second edition - 2010**. 2. ed. Brisbane, Australia: The University of Queensland, 2010. 87 p. 2, 7

LI, M.; ZANG, S.; WU, C.; DENG, Y. Segmentation-based and rule-based spectral mixture analysis for estimating urban imperviousness. **Advances in Space Research**, COSPAR, v. 55, n. 5, p. 1307–1315, 2015. ISSN 02731177. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0273117714007741>. 36

LI, S.; CHEN, X. A new bare-soil index for rapid mapping developing areas using LANDSAT 8 data. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XL-4, n. May, p. 139–144, 2014. ISSN 2194-9034. Disponível em: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-4/139/2014/>. 39

LIMA, W. D. P. **Silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios.** Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2010. 64 p. 18, 46, 155

LIMA, W. D. P.; FERRAZ, S. F. D. B.; FERRAZ, K. M. P. M. D. B. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: CALIJURI, M. d. C.; CUNHA, D. G. F. (Ed.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. cap. 10, p. 215–244. 17, 18, 45, 47, 153, 154

LINARD, C.; GILBERT, M.; TATEM, A. J. Assessing the use of global land cover data for guiding large area population distribution modelling. **GeoJournal**, v. 76, n. 5, p. 525–538, oct 2011. ISSN 0343-2521. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10708-010-9364-8>. 61

MARINELLI, C. E. **De olho nas unidades de conservação : Sistema de Indicadores Socioambientais para Unidades de Conservação da Amazônia Brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011. 16 p. 9, 118

MARSHALL, R. J. Mapping Disease and Mortality Rates Using Empirical Bayes Estimators. **Applied Statistics**, v. 40, n. 2, p. 283, 1991. ISSN 00359254. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2347593?origin=crossref>. 61

MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 181–190, 2007. 12

MCNEELY, J. A. (Ed.). **Parks for Life: Report of the IVth World Cogress on National Parks and Protected Areas**. Gland, Switzerland: IUCN, 1993. viii+260 p. 11

MCNEELY, J. A.; MILLER, K. (Ed.). **National Parks, Conservation, and Development: the Role of Protected Areas in Sustaining Society**. Washington, USA: Smithsonian Institution Press, 1984. 825 p. ISBN 0-87474-663-9. 11

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209–220, 2010. 19, 159

Monteiro Lobato. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Monteiro Lobato**. Monteiro Lobato: Prefeitura Municipal de Monteiro Lobato / Governo do Estado de São Paulo, 2012. 214 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}MONTEIROLOBATO.pdf>. 85

MORETTI, R. D. S.; GHILARDI, F. H. Reflexões sobre o uso de indicadores no planejamento do território. In: **ENANPUR - Espaço, planejamento e insurgências**. Belo Horizonte: [s.n.], 2015. p. 1–15. Disponível em: <http://xvienanpur.com.br/anais/?wpfb{_}dl=261>. 9

NAGENDRA, H.; LUCAS, R.; HONRADO, J. P.; JONGMAN, R. H.; TARANTINO, C.; ADAMO, M.; MAIROTA, P. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. **Ecological Indicators**, Elsevier Ltd, v. 33, p. 45–59, oct 2013. ISSN 1470160X. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X12003317>. 2, 14, 15, 16

NAGENDRA, H.; MAIROTA, P.; MARANGI, C.; LUCAS, R.; DIMOPOULOS, P.; HONRADO, J. P.; NIPHADKAR, M.; MÜCHER, C. a.; TOMASELLI, V.; PANITSA, M.; TARANTINO, C.; MANAKOS, I.; BLONDA, P. Satellite Earth observation data to identify anthropogenic pressures in selected protected areas. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Elsevier B.V., nov 2014. ISSN 03032434. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243414002335>. 2

NAGENDRA, H.; REYERS, B.; LAVOREL, S. Impacts of land change on biodiversity: making the link to ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Elsevier B.V., v. 5, n. 5, p. 503–508, 2013. ISSN 18773435. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877343513000663>. 45, 153

NAGLER, P. L.; GLENN, E. P.; HINOJOSA-HUERTA, O. Synthesis of ground and remote sensing data for monitoring ecosystem functions in the Colorado River Delta, Mexico. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier B.V., v. 113, n. 7, p. 1473–1485, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000522>. 2, 17

NASA. **MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): Data Products**. 2016. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>. 10

Natividade da Serra. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Natividade da Serra**. Natividade da Serra: Prefeitura Municipal

de Natividade da Serra / Governo do Estado de São Paulo, 2011. 226 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}NATIVIDADE{_}DA{_}SERRA.pdf>. 72

NEARY, D. G.; ICE, G. G.; JACKSON, C. R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 10, p. 2269–2281, 2009. ISSN 03781127. 17

NEMANI, R.; HASHIMOTO, H.; VOTAVA, P.; MELTON, F.; WANG, W.; MICHAELIS, A.; MUTCH, L.; MILESI, C.; HIATT, S.; WHITE, M. Monitoring and forecasting ecosystem dynamics using the Terrestrial Observation and Prediction System (TOPS). **Remote Sensing of Environment**, Elsevier B.V., v. 113, n. 7, p. 1497–1509, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000558>. 10

NEMANI, R.; VOTAVA, P.; ROADS, J.; WHITE, M.; RUNNING, S.; COUGHLAN, J. Terrestrial Observation and Prediction System: integration of satellite and surface weather observations with ecosystem models. In: **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. IEEE, 2002. v. 4, p. 2394–2396. ISBN 0-7803-7536-X. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1026555>. 10

NIJKAMP, P.; OUWERSLOOT, H. A decision support system for regional sustainable development: the Flag Model. In: BERGH, J. C. J. M. van den; HOFKES, M. W. (Ed.). **The Flag model, Theory and Implementation of Sustainable Development Modeling**. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 255–273. 27, 28

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p. 14

OLDELAND, J.; DORIGO, W.; LIECKFELD, L.; LUCIEER, A.; J??RGENS, N. Combining vegetation indices, constrained ordination and fuzzy classification for mapping semi-natural vegetation units from hyperspectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier Inc., v. 114, n. 6, p. 1155–1166, 2010. ISSN 00344257. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.003>. 14, 36

OSTROM, E.; NAGENDRA, H. Insights on linking forests, trees, and people from the air, on the ground, and in the laboratory. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 51, p.

19224–31, dec 2006. ISSN 0027-8424. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1838564{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=abstract>. 2, 3, 119

PARAIBUNA. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Paraibuna**. Paraibuna: Prefeitura Municipal de Paraibuna / Governo do Estado de São Paulo, 2012. 195 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}PARAIBUNA.pdf>. 72

PENNINGTON, P.; LAFFAN, M. Evaluation of the use of pre- and post-harvest bulk density measurements in wet Eucalyptus obliqua forest in Southern Tasmania. **Ecological Indicators**, v. 4, n. 1, p. 39–54, mar 2004. ISSN 1470160X. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X03000724>. 18, 46, 154

PINHO, C. M. D. de; FONSECA, L. M. G.; KORTING, T. S.; ALMEIDA, C. M. de; KUX, H. J. H. Land-cover classification of an intra- urban environment using high- resolution images and object-based image analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 19, p. 5973–5995, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.675451>. 36, 39

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. 31, 62

RATCLIFFE, J. H. On the accuracy of TIGER-type geocoded address data in relation to cadastral and census areal units. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 15, n. 5, p. 473–485, 2001. ISSN 1365-8816. 62

RICHARDS, C.; JOHNSON, L. B.; HOST, G. E. **Landscape-scale influences on stream habitats and biota**. 1996. 295–311 p. 18

ROTH, K. L.; ROBERTS, D. A.; DENNISON, P. E.; PETERSON, S. H.; ALONZO, M. The impact of spatial resolution on the classification of plant species and functional types within imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, v. 171, p. 45–57, dec 2015. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425715301553>. 14

Rouse Jr., J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium**, NASA, 1973. 37

ROY, D.; WULDER, M.; LOVELAND, T.; C.E., W.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; HELDER, D.; IRONS, J.; JOHNSON, D.; KENNEDY, R.; SCAMBOS, T.; SCHAAF, C.; SCHOTT, J.; SHENG, Y.; VERMOTE, E.; BELWARD a.S.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W.; GAO, F.; HIPPLE, J.; HOSTERT, P.; HUNTINGTON, J.; JUSTICE, C.; KILIC, a.; KOVALSKYY, V.; LEE, Z.; LYMBURNER, L.; MASEK, J.; MCCORKEL, J.; SHUAI, Y.; TREZZA, R.; VOGELMANN, J.; WYNNE, R.; ZHU, Z. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier B.V., v. 145, p. 154–172, apr 2014. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003442571400042X>. 14

São José do Barreiro. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de São José do Barreiro**. São José do Barreiro: Prefeitura Municipal de São José do Barreiro / Governo do Estado de São Paulo, 2012. 303 p. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}SAO{_}JOSE{_}DO{_}BARREIRO.pdf>. 111, 112

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977. ISSN 00222496. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022249677900335>. 44, 50

SACHS, I. Sociedade, cultura e meio ambiente. **Mundo & vida**, v. 2, p. 7–13, 2000. Disponível em: <http://professor-ruas.yolasite.com/resources/Sociedade,culturaemeioambiente,MV1(1-2)07-13.pdf>. 28

_____. **Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008. 152 p. ISBN 85-7617-04-X. 28

SCHERL, L. M.; WILSON, A.; WILD, R.; BLOCKHUS, J.; FRANKS, P.; MCNEELY, J. A.; MCSHANE, T. O. **Can Protected Areas Contribute to Poverty Reduction? Oportunities and Limitations**. Gland, Switzerland and Cambrige, UK: IUCN, 2004. vii + 60 p. ISBN 2831708095. 3, 11

SEADE. **Informações dos Municípios Paulistas - IMP**. 2015. Disponível em: <http://www.imp.seade.gov.br/>. 143

SHANDAS, V.; ALBERTI, M. Exploring the role of vegetation fragmentation on aquatic conditions: Linking upland with riparian areas in Puget Sound lowland streams. **Landscape and Urban Planning**, v. 90, n. 1-2, p. 66–75, mar 2009.

ISSN 01692046. Disponível em:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169204608001771>. 17

SHI, P.; YU, D. Assessing urban environmental resources and services of Shenzhen, China: A landscape-based approach for urban planning and sustainability. **Landscape and Urban Planning**, Elsevier B.V., v. 125, p. 290–297, 2014. ISSN 01692046. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.025>. 17

SILVA, D. d. O. e. **Avaliação de efetividade de gestão de unidades de conservação: o Mosaico do Apuí - Amazonas/AM**. 118 p. Tese (Dissertação de Mestrado (Política e Gestão Ambiental)) — Universidade de Brasília, Brasília, 2012. 9

SILVEIRAS. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Silveiras**. Silveiras: Prefeitura Municipal de Silveiras / Governo do Estado de São Paulo, 2011. 204 p. Disponível em:
<http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI02/PMS{_}SILVEIRAS.pdf>. 105

SOSMA; INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - Período 2013-2014**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Disponível em:
<http://mapas.sosma.org.br/dados/>. 68

SOUZA, G. d. O. C. de. Limitações da análise demográfica em área de proteção e preservação ambiental no Estado de São Paulo. In: **Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. Caxambu: ABEP, 2004. p. 1–21. 50, 120

SPONSELLER, R. A.; BENFIELD, E. F.; VALETT, H. M. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. **Freshwater Biology**, v. 46, p. 1409–1424, 2001. ISSN 00465070. 18

STOLTON, S.; HOCKINGS, M.; DUDLEY, N.; MACKINNON, K.; WHITTEN, T.; LEVERINGTON, F. **Reporting progress in protected areas: a site-level Management Effectiveness Tracking Tool**. 2. ed. Gland, Switzerland: IUCN, 2007. 9

STOTT, T.; LEEKS, G.; MARKS, S.; SAWYER, A. Environmentally sensitive plot-scale timber harvesting: impacts on suspended sediment, bedload and bank erosion dynamics. **Journal of environmental management**, v. 63, n. 1, p. 3–25,

2001. ISSN 0301-4797. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11591028>. 18, 46, 154

TEIXEIRA, C. O desenvolvimento sustentável em unidade de conservação: a "naturalização"do social. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 20, n. 59, p. 51–66, 2005. 13

TEIXEIRA, L. R. **Megaprojetos no litoral norte paulista: o papel dos grandes empreendimentos de infraestrutura na transformação regional**. 247 p. Tese (Tese (Doutorado)) — Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2013. 73

THOMAS, N.; HENDRIX, C.; CONGALTON, R. G. A Comparison of Urban Mapping Methods Using High-Resolution Digital Imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 963–972, 2003. ISSN 00991112. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.69.9.963>. 39

TOWNSEND, C. R.; DOLÉDEC, S.; NORRIS, R.; PEACOCK, K.; ARBUCKLE, C. The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: Description and prediction. **Freshwater Biology**, v. 48, p. 768–785, 2003. ISSN 00465070. 17

TRIMBLE. **eCognition Developer**. Munich: Trimble Germany Gmbh, 2014. 33

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2006. 302 p. ISBN 85-7738-047-5. 17, 19, 45, 49, 153, 158

TURNER, B. L.; MEYER, W. B. Global land-use and land-cover change: An overview. In: MEYER, W. B.; Turner II, B. L. (Ed.). **Change in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**. Cambrige: Press Syndicate os the University of Cambrige, 1994. cap. 1, p. 3–10. ISBN 0521470854. 16

United Nations. **Indicators of Sustainable Development : Guidelines and Methodologies**. Third edit. New York: [s.n.], 2007. 1–90 p. ISSN 1755-5817. ISBN 9789211045772. 54, 144, 147

USEPA. **Landscape Monitoring and Assessment Research Plan**. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 1994. 53 p. 17

VANONCKELEN, S.; LHERMITTE, S.; Van Rompaey, A. The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification

accuracy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Elsevier B.V., v. 24, n. 1, p. 9–21, 2013. ISSN 15698432. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.02.003>. 31

VEIGA, J. E. da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. 220 p. ISBN 85-7617-051-5. 28

_____. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 39–52, 2010. 28

VERAVERBEKE, S.; VERSTRAETEN, W.; LHERMITTE, S.; GOOSSENS, R. Illumination effects on the differenced Normalized Burn Ratio's optimality for assessing fire severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, n. 1, p. 60–70, feb 2010. ISSN 03032434. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243409001007>. 33

WANG, Y.; MITCHELL, B. R.; NUGRANAD-MARZILLI, J.; BONYNGE, G.; ZHOU, Y.; SHRIVER, G. Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier Inc., v. 113, n. 7, p. 1453–1461, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000509>. 10

WAQAR, M. M.; MIRZA, J. F.; MUMTAZ, R.; HUSSAIN, E. Development of New Indices for Extraction of Built-Up Area & Bare Soil. **Open Access Scientific Reports**, v. 1, n. 1, p. 1–4, 2012. 39

WATSON, J. E. M.; DUDLEY, N.; SEGAN, D. B.; HOCKINGS, M. The performance and potential of protected areas. **Nature**, Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved., v. 515, n. 7525, p. 67–73, nov 2014. ISSN 0028-0836. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nature1394710.1038/nature13947http://www.nature.com/nature/journal/v515/n7525/abs/nature13947.html{#}supplementary-information>. 5

WENDLAND, E.; MARIN, I. S. P. Contaminação de águas subterrâneas. In: CALIJURI, M. d. C.; CUNHA, D. G. F. (Ed.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. cap. 12, p. 269–293. 19, 48, 159

WIENS, J.; SUTTER, R.; ANDERSON, M.; BLANCHARD, J.; BARNETT, A.; AGUILAR-AMUCHASTEGUI, N.; AVERY, C.; LAINE, S. Selecting and conserving lands for biodiversity: The role of remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier B.V., v. 113, n. 7, p. 1370–1381, jul 2009. ISSN 00344257. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709000479>. 2

WWAP. **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris: UNESCO, 2015. 1

ZEVENBERGEN, L. W.; THORNE, C. R. Quantitative analysis of land surface topography. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 12, n. 1, p. 47–56, jan 1987. ISSN 01979337. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/esp.3290120107>. 37

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, jan 2003. ISSN 0143-1161. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160304987>. 37

APÊNDICE A - CATEGORIAS DE MANEJO PREVISTAS NO SNUC

Tabela A.1 - Categorias de manejo previstas no SNUC.

	Categoria	Descrição
Grupo de unidades de Proteção Integral	Estação Ecológica	Preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.
	Reserva Biológica	Preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.
	Parque Nacional	Preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.
	Monumento Natural	Preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.
	Refúgio da Vida Silvestre	Proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.
Grupo de unidades de Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental	Área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.
	Área de Relevante Interesse Ecológico	Área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.
	Floresta Nacional	Área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas.
	Reserva Extrativista	Área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.
	Reserva de Fauna	Área natural com populações animais de espécies nativas, terrestres ou aquáticas, residentes ou migratórias, adequadas para estudos técnico-científicos sobre o manejo econômico sustentável de recursos faunísticos.
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável	Área natural que abriga populações tradicionais, cuja existência baseia-se em sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica.
	Reserva Particular do Patrimônio Natural	Área privada, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica.

Fonte: Adaptado de Brasil (2000).

APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DOS INDICADORES

Dimensão Social

Nome do indicador: Proporção de alfabetizados com idade entre 8 e 17 anos (*alfa_8a17*)

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) população alfabetizada entre 8 e 17 anos de idade; e *b*) população total nesta faixa etária. Corresponde ao quociente entre as pessoas com idade entre 8 e 17 anos, que declararam saber ler e escrever, e o total de pessoas do mesmo grupo etário.

Cálculo do indicador:

$$alfa_8a17 = \frac{Pessoas\ entre\ 8\ e\ 17\ anos\ _{(Alfabetizados)}}{Pessoas\ entre\ 8\ e\ 17\ anos} \times 100$$

Justificativa: Este indicador associa-se à efetividade de políticas ativas na área de educação. Para se desenvolver de modo sustentável, é necessário tornar acessível a toda a população a educação básica, iniciada com a alfabetização. A alfabetização, bem como outros conhecimentos básicos adquiridos a partir do ensino básico, fornecem condições para que as pessoas tenham capacidade para processar informações, selecionando o que é relevante, e continuar aprendendo. Ademais, ampliam as possibilidades futuras, desses jovens, de inserção no mercado de trabalho (IBGE, 2015). Além disso, a educação permite à população compreender seus direitos e deveres para com a sociedade e o espaço que ocupam e no qual interagem, sendo agentes atuantes na organização e dinâmica do mesmo. Nesse sentido, a educação da população potencializa as chances de se implementar com sucesso as ações de manejo de uma UC como a APA-MRPS.

Considerações metodológicas: No censo, foi considerada alfabetizada a pessoa que declara saber ler e escrever um bilhete simples no idioma que conhece. Foi considerada analfabeta a pessoa que aprendeu a ler e escrever, mas que esqueceu devido a ter passado por um processo de alfabetização que não se consolidou e a que apenas assinava o próprio nome.
O indicador foi calculado para os jovens com idade entre 8 e 17 anos, conforme as metas estabelecidas pelo governo federal no Plano de Desenvolvimento da Educação de 2007, de alfabetizar as crianças até no máximo oito anos de idade. A faixa de idade representa a parcela da população que deveria ter sido alfabetizada no decênio que precede a coleta do dado censitário.
No questionário do universo do censo 2010, as investigações sobre educação limitaram-se a estatísticas associadas à alfabetização, sendo assim, para compatibilizar os indicadores de ambos os momentos analisados estes indicadores herdam esta limitação. Entretanto, é importante levar em conta que sua validade como medida discriminante de condições sociais seja limitada, devido aos avanços de programas de escolarização (JANNUZZI, 2012).

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Proporção alfabetizados entre responsáveis por domicílios (*resp_alfa*)

Descrição: *a*) pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes alfabetizados; e *b*) total de pessoas responsáveis. Corresponde ao quociente entre as pessoas responsáveis por domicílios que declararam saber ler e escrever, pelo total de pessoas responsáveis por domicílios.

Cálculo do indicador:

$$resp_alfa = \frac{Pessoas\ responsáveis_{\ (Alfabetizados)}}{Pessoas\ responsáveis} \times 100$$

Justificativa: Este indicador mede a efetividade de políticas ativas na área de educação. Para se desenvolver de modo sustentável, é necessário tornar acessível a toda a população a educação básica, iniciada com a alfabetização. A alfabetização entre os responsáveis amplia as possibilidades de acesso ao mercado de trabalho, e também as possibilidades de incentivar seus filhos a frequentar a escola (IBGE, 2015). Além disso, a educação permite à população compreender seus direitos e deveres para com a sociedade e o espaço que ocupam e no qual interagem, sendo agentes atuantes na organização e dinâmica do mesmo. Nesse sentido, a educação da população potencializa as chances de se implementar com sucesso as ações de manejo de uma UC como a APA-MRPS.

Considerações metodológicas: No censo, foi considerada alfabetizada a pessoa que declara saber ler e escrever um bilhete simples no idioma que conhece. Foi considerada analfabeta a pessoa que aprendeu a ler e escrever, mas que esqueceu devido a ter passado por um processo de alfabetização que não se consolidou e a que apenas assinava o próprio nome.
Por pessoa responsável pelo domicílio, considera-se o homem ou a mulher, de 10 anos ou mais de idade, reconhecida pelos moradores como responsável pela unidade domiciliar.
No questionário do universo do censo 2010, as investigações sobre educação limitaram-se a estatísticas associadas à alfabetização, sendo assim, para compatibilizar os indicadores de ambos os momentos analisados estes indicadores herdam esta limitação. Entretanto, é importante levar em conta que sua validade como medida discriminante de condições sociais seja limitada, devido aos avanços de programas de escolarização (JANNUZZI, 2012).

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Proporção de pessoas acima da expectativa de vida – estratificado por sexo (exp_vida_H e exp_vida_M)

Descrição: *a*) expectativa média de vida ao nascer média do estado de São Paulo, para o ano considerado; *b*) população com idade acima da expectativa média de vida ao nascer; e *c*) população total. Corresponde a proporção das pessoas com idade acima da expectativa média de vida ao nascer em relação a população total. Este indicador foi calculado estratificado por sexo, gerando dois indicadores.

Cálculo do indicador:

$$exp_vida_X = \frac{Popula\text{ção}\, X_{\,(idade > expectativa)}}{Popula\text{ção}\, X} \times 100$$

Justificativa: A existência de pessoas em idade superior à esperança de vida ao nascer média do estado de São Paulo sugere boas das condições de vida e de saúde da população em relação ao estado de maneira geral. Uma vez que existem grandes diferenças entre a expectativa média de vida entre homens e mulheres, bem como entre as diferentes regiões do país, considerou-se este indicador em coortes de gênero e utilizou-se a expectativa média do estado de São Paulo.

Considerações metodológicas: A expectativa de vida ao nascer é o número médio de anos de vida esperados para um recém-nascido, mantido o padrão de mortalidade existente, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado (SEADE, 2015). Para o cálculo da esperança de vida ao nascer, leva-se em consideração não apenas a mortalidade infantil, mas todo o histórico de mortalidade de crianças, adolescentes, jovens, adultos e idosos, sendo uma síntese da mortalidade ao longo de todo o ciclo de vida dos indivíduos (Freire Junior et al., 2010).
A expectativa média de vida ao nascer no estado de São Paulo era de 77 anos entre as mulheres e 67 anos entre os homens em 2000, e 79 anos entre as mulheres e 71 anos entre os homens em 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Proporção da população que dispõe de fonte de água adequada (*pess_agua*)

Descrição: Para a construção deste indicador, foram utilizadas as variáveis: *a*) moradores em domicílios com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade; *b*) moradores em domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral; e *c*) total de moradores. Corresponde à média ponderada entre a proporção de pessoas que contam com abastecimento de água da rede geral em relação ao total de moradores (peso 2) e a proporção de pessoas com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação ao total de moradores (peso 1).

Cálculo do indicador:

$$pess_agua = \frac{(\frac{Moradores_{\,(água \rightarrow poço/nascente)}}{Moradores} \times 1) + (\frac{Moradores_{\,(água \rightarrow rede\ geral)}}{Moradores} \times 2)}{1+2} \times 100$$

Justificativa: Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). O indicador monitora os progressos do acesso da população a fontes adequadas de água. Acessibilidade à água de qualidade para consumo e em quantidade necessária para a higiene pessoal interrompem os ciclos de uma gama de doenças que se proliferam pela água ou pela falta dela (HELLER, 1998; United Nations, 2007). Nesse sentido, trata-se de um indicador indireto das condições de saúde da população.

Considerações metodológicas: As importâncias (pesos) foram determinadas em função do nível de qualidade da água esperada de cada uma das fontes de abastecimento.

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Percentual de cobertura de coleta de lixo (*pess_lixo*)

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) moradores em domicílios particulares permanentes com lixo coletado; e *b*) total de moradores. Corresponde à proporção de moradores em domicílios em que o lixo é coletado por serviço de limpeza ou caçamba de serviço de limpeza.

Cálculo do indicador:

$$pess_lixo = \frac{Moradores_{\,(lixo\ coletado)}}{Moradores} \times 100$$

Justificativa: Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). Aliado às demais medidas de saneamento, a destinação adequada de resíduos sólidos constitui uma importante medida de prevenção de doenças, posto que os resíduos dispostos incorretamente tendem a obstruir drenagens de águas pluviais, causando enchentes e contaminando corpos hídricos, favorecendo a proliferação de doenças de veiculação hídrica. Também, está diretamente associada à proteção do ambiente, uma vez que a disposição inadequada dos resíduos pode favorecer a contaminação do solo e águas, e nesse sentido, poderia representar também a dimensão ecológica do sistema de indicadores.

Considerações metodológicas: Apesar da abrangência da cobertura ser essencial, a existência da coleta não qualifica a frequência, destinação adequada ou existência de coletas seletivas.

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Cobertura de esgotamento sanitário (*pess_esgo*)

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) moradores em domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial; *b*) moradores em domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo e esgotamento sanitário via fossa séptica; e *c*) total de moradores em domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo e esgotamento sanitário. Corresponde à proporção de moradores de domicílios em que o esgotamento sanitário é realizado de maneira adequada. Considerou-se igualmente adequado o esgotamento via rede geral de esgoto ou pluvial ou via fossa séptica.

Cálculo do indicador:

$$pess_esgo = \frac{Moradores_{\,(rede\ geral)} + Moradores_{\,(fossa\ séptica)}}{Moradores} \times 100$$

Justificativa: Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015). O tratamento de esgotos constitui um dos mais importantes meios de prevenção de doenças (HELLER, 1998). Além de terem forte influência na saúde e na qualidade de vida da população, os indicadores de cobertura de esgotamento sanitário e de coleta de lixo expressam pressões sobre os recursos naturais, especialmente os recursos hídricos, e nesse sentido, poderiam representar também a dimensão ecológica do sistema de indicadores.

Considerações metodológicas: O censo não qualifica o sistema de esgoto, portanto não se pode afirmar que a região disponha de tratamento do efluente coletado, ou que a fossa séptica seja devidamente impermeabilizada.

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Proporção dos responsáveis por domicílios com rendimento superior a um salário mínimo – estratificado por sexo ('*trab_R_M*' e '*trab_R_H*')

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) responsáveis por domicílios particulares permanentes com rendimento igual ou superior a um salário mínimo referente ao ano considerado; e *b*) responsáveis por domicílios particulares permanentes com rendimento positivo. Corresponde ao quociente dos responsáveis por domicílios com renda maior ou igual a um salário mínimo pelo total de responsáveis por domicílios com rendimento positivo, estratificado por gênero. Ou seja, a proporção entre os responsáveis que recebiam pelo seu trabalho a quantia mínima estabelecida por lei e todos os que buscavam alguma alternativa de renda.

Cálculo do indicador:

$$trab_R_X = \frac{Responsáveis\ por\ domicílios_{\ (rend > 1\ sm)}}{Responsáveis\ por\ domicílios} \times 100$$

Justificativa: O desemprego é um fator preponderante na determinação dos níveis de pobreza (IBGE, 2015). O indicador permite fazer uma análise sobre o acesso dos responsáveis por domicílios ao mercado de trabalho, que garante a geração de renda para a sobrevivência daquela família. Reflete a capacidade do sistema econômico em prover ocupação produtiva aos responsáveis por domicílios que a desejam.
Promover a igualdade de gênero é um dos objetivos do desenvolvimento sustentável (United Nations, 2007). O indicador desagregado por sexo evidencia desigualdades de gênero no acesso ao mercado de trabalho, aspecto associado ao maior ou menor grau de democratização da sociedade e à existência de um mercado de trabalho capaz de se adaptar às mudanças sociais ao longo do tempo (IBGE, 2015).

Considerações metodológicas: No questionário do universo do Censo de 2000 as investigações sobre rendimento limitaram-se às pessoas definidas como responsáveis pelos domicílios. Sendo assim, para compatibilizar ambos os momentos analisados estes indicadores herdam esta limitação. Por pessoa responsável pelo domicílio, considera-se o homem ou a mulher, de 10 anos ou mais de idade, reconhecida pelos moradores como responsável pela unidade domiciliar.
Deve-se considerar que o valor salário mínimo apresentou grande variação entre os períodos analisados. Em 2000 era de R$ 151, e em 2010 R$ 510.
O indicador seria mais pertinente se os dados permitissem analisar em menores intervalos de tempo, pois seria possível avaliar sua variação ao longo do tempo e acompanhar tendências do acesso ao mercado de trabalho.

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Rendimento médio do responsável (*rend_resp*)

Descrição: Rendimento mensal médio das pessoas responsáveis pelo domicílio, expresso em salários mínimos referente ao ano considerado.

Justificativa: O rendimento dos responsáveis indica a capacidade de cobertura do orçamento doméstico, bem como a capacidade de aquisição de bens e serviços (ANAZAWA, 2012; JANNUZZI, 2012).

Considerações metodológicas: No questionário do universo do Censo de 2000 as investigações sobre rendimento limitaram-se às pessoas definidas como responsáveis pelos domicílios. Sendo assim, para compatibilizar ambos os momentos analisados estes indicadores herdam esta limitação. Por pessoa responsável pelo domicílio, considera-se o homem ou a mulher, de 10 anos ou mais de idade, reconhecida pelos moradores como responsável pela unidade domiciliar.
Deve-se considerar que o valor salário mínimo apresentou grande variação entre os períodos analisados. Em 2000 era de R$ 151, e em 2010 R$ 510.

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Índice de Gini (*gini*)

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) total do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis estratificado em 10 intervalos de renda, expresso em salários mínimos; *b*) total do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis; *c*) pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes estratificado em 10 intervalos de renda; e *d*) total de pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes. Expressa o grau de concentração na distribuição do rendimento dos responsáveis, cujo valor varia de zero (perfeita igualdade) até um (desigualdade máxima). Em situações reais, é difícil que o índice atinja valores extremos. Um índice em torno de 0,5 é considerado um valor representativo de fortes desigualdades (IBGE, 2015).

Cálculo do indicador: O Índice de Gini baseia-se na Curva de Lorenz, que relaciona a fração acumulada da renda com a fração acumulada da população (Freire Junior et al., 2010). A Figura B.1 exemplifica graficamente está relação.

Figura B.1 - Representação conceitual gráfica do índice de Gini.

Fonte: Produzido pelo autor.

A linha diagonal representa a perfeita equidade de distribuição de renda (20% dos responsáveis recebe 20% da renda total; 60% dos responsáveis recebe 60% da renda total; e assim por diante). O coeficiente de Gini equivale à proporção entre a área entre a curva de Lorenz e a linha de igualdade (A) e toda a área abaixo da linha de igualdade ($A+B$). Para calcular a área B utilizou-se o método de integração numérica dos trapézios, dada pela seguinte equação:

$$B = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} (Pop_{\ i+1} - Pop_{\ i}) \cdot (Ren_{\ i+1} + Ren_{\ i})$$

onde:

i = número de estratos de renda;

Ren = Proporção acumulada do rendimento das pessoas responsáveis em cada estrato;

Pop = Proporção acumulada das pessoas responsáveis para o estrato.

Obtém-se, então, o Índice de Gini (G) pela seguinte equação:

$$gini = \frac{A}{A+B}$$

Tendo em vista que $A + B = 0,5$, e unindo-a a equação de B temos:

$$gini = \frac{0,5 - B}{0,5} = 1 - \sum_{i=1}^{n} (Pop_{\ i+1} - Pop_{\ i}) \cdot (Ren_{\ i+1} + Ren_{\ i})$$

Justificativa: É importante avaliar não somente o valor absoluto do rendimento médio dos responsáveis, mas também esta se reparte e se um possível crescimento se traduz em melhoria da qualidade de vida da população. O índice de Gini é importante pela sua capacidade de mensuração das desigualdades sociais oriundas da apropriação diferenciada do rendimento pelos responsáveis (IBGE, 2015; JANNUZZI, 2012).

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010)

Nome do indicador: Proporção de domicílios próprios (*dpp_prop*)

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) domicílios particulares permanentes próprios e quitados; e *b*) total de domicílios particulares permanentes. Corresponde à proporção de domicílios próprios e quitados em relação ao total de domicílios;

Cálculo do indicador:

$$dpp_prop = \frac{Domicílios_{\ (próprios)}}{Domicílios} \times 100$$

Justificativa: A presença de domicílios próprios indica maior estabilidade econômica da população. É também um método alternativo de identificação do poder aquisitivo da população, pois geralmente está correlacionado à renda familiar (ANAZAWA, 2012; JANNUZZI, 2012).

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Razão de dependência (*rz_depen*)

Descrição: Para a construção deste indicador foram utilizadas as variáveis: *a*) população com menos de 15 anos de idade; ou com idade igual ou superior a 65 anos; e *b*) população entre 15 e 65 anos de idade. Razão entre o segmento etário da população definido como economicamente dependente (os menores de 15 anos de idade e os de 65 ou mais anos de idade) e o segmento etário potencialmente produtivo (entre 15 e 65 anos de idade).

Cálculo do indicador:

$$rz_depen = \frac{Popula\text{ção}_{\,(<15\ anos\ ou\ \geq 65\ anos)}}{Popula\text{ção}_{\,(\geq 15\ anos\ e\ <65\ anos)}}$$

Justificativa: Mede a participação relativa do contingente populacional potencialmente inativo, que deveria ser sustentado pela parcela da população potencialmente produtiva. Valores elevados indicam que a população em idade produtiva deve sustentar uma grande proporção de dependentes, o que significa consideráveis encargos assistenciais para a sociedade (IBGE, 2015)

Fonte do dado: Conjunto de dados do universo dos Censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2000; IBGE, 2010).

Nome do indicador: Proporção de 'Florestas' (*p_flor*)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Floresta' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Floresta' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_flor = \frac{\text{Área}_{(Floresta \cap célula)}}{\text{Área}_{(célula)}} \times 100$$

Justificativa: A 'Floresta' é a cobertura da terra que possui o maior potencial em fornecer serviços ecossistêmicos, e sua conservação implica na proteção direta dos mananciais hídricos da bacia. As 'Florestas' contribuem para *a*) o processo de infiltração de água no solo, já que a cobertura florestal intercepta a água da chuva, diminui sua velocidade e mantém a umidade do solo, permitindo que infiltre lentamente; *b*) a proteção do solo, pois reduz o escoamento superficial e beneficia a infiltração, evitando processos erosivos e, consequentemente, reduzindo a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais; *c*) proteção ripária, que envolve aspectos físicos como o sombreamento do canal, e regulação temperatura da água; *d*) melhoria da qualidade da água, pois retém sedimentos e nutrientes; *e*) regulação do fluxo de água, pela atenuação dos fluxos superficiais e subsuperficiais; e *f*) produção de água, pois alimentam os corpos d'água em períodos de estiagem (TUCCI; MENDES, 2006; LIMA et al., 2013).
Além disso, as áreas de 'Floresta' são as de maior biodiversidade. Sua remoção implica na fragmentação de habitats, a extinção de espécies da fauna e da flora, a interferência nos fluxos e processos biológicos e de polinização, dentre outros danos à biodiversidade (NAGENDRA et al., 2013).

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

Nome do indicador: Proporção de 'Floresta monoespecífica' (*p_fmono*)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Floresta monoespecífica' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Floresta monoespecífica' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_fmono = \frac{\text{Área}_{(Floresta\ monoespecífica\ \cap\ célula)}}{\text{Área}_{(célula)}} \times 100$$

Justificativa: A 'Floresta monoespecífica' está associada à floresta plantada. Apesar de não serem tão eficientes em proteger os mananciais quanto a floresta natural, a floresta plantada apresenta vantagens em relação a coberturas de vegetação com menor porte, como áreas de 'Pasto/Gramíneas' ou 'Solo exposto'. As florestas plantadas contribuem para *a*) o processo de infiltração de água no solo, já que a cobertura florestal intercepta a água da chuva, diminui sua velocidade e mantém a umidade do solo, permitindo que infiltre lentamente; e *b*) a proteção do solo, reduzindo o escoamento superficial, beneficiando a infiltração e, consequentemente, reduzindo as chances de processos erosivos (LIMA et al., 2013).
Em etapas do manejo florestal, como o corte raso da floresta plantada (colheita), podem ocorrer aumentos na concentração de sedimentos em suspensão nos mananciais, perdas de solo e nutrientes, que são prejudiciais à qualidade da água (STOTT et al., 2001; PENNINGTON; LAFFAN, 2004).
Além disso, em paisagens onde a floresta é a cobertura da terra natural, como a BHPS, florestas plantadas em áreas onde a floresta natural foi removida pode ajudar a conservação da biodiversidade, fornecendo habitat da floresta complementar e aumentando a conectividade entre fragmentos (BROCKERHOFF et al., 2008).

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

Nome do indicador: Proporção de 'Herbáceo/Arbórea' (*p_herb*)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Herbáceo/Arbórea' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Herbáceo/Arbórea' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_herb = \frac{\text{Área}_{(Herbáceo/Arbórea \cap célula)}}{\text{Área}_{(célula)}} \times 100$$

Justificativa: A classe 'Herbáceo/Arbórea', presente na área de estudo, está relacionada a áreas desmatadas subutilizadas onde a floresta está se regenerando. Essas áreas tem o seu potencial de oferecer serviços ecossistêmicos reduzidos em relação às florestas, por ainda não apresentarem características importantes, como estrutura, copa, sub-bosque e serrapilheira (LIMA, 2010). Mesmo assim, em menor grau, a classe 'Herbáceo/Arbórea' apresenta as mesmas vantagens que as 'Florestas' em relação à classes com cobertura vegetal de menor porte ou não vegetada. Além disso, as áreas de 'Herbáceo/Arbórea' são predecessoras das 'Florestas', o que indica que futuramente aquela área terá maior potencial de oferecer tais serviços ecossistêmicos.

Considerações metodológicas: Apesar de serem pouco representativas, algumas regiões da área de estudo podem apresentar formações vegetais do bioma cerrado, onde a classe 'Herbáceo/Arbórea' e a 'Pasto/Gramíneas' poderiam ser consideradas como a cobertura natural.

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

Nome do indicador: Proporção de 'Pasto/Gramíneas ' (*p_grama*)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Pasto/Gramíneas' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Pasto/Gramíneas' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_grama = \frac{\text{Área}_{(Pasto/Gramíneas \cap célula)}}{\text{Área}_{(célula)}} \times 100$$

Justificativa: Uma vez removida a cobertura florestal natural, perdem-se os serviços ecossistêmicos prestados. A vegetação de gramíneas contribui, mas de maneira reduzida, para proteção do solo e infiltração de água na terra. Apresenta vantagens para a proteção dos mananciais, apenas quando comparada à classes de 'Não-vegetação'.
Além disso, a cobertura está associada ao uso agropecuário. Na pecuária, o pisoteio animal nas margens de corpos d'água podem causar compactação do solo e desencadear processos erosivos. As atividades agrícolas fazem uso frequente de substância químicas como pesticidas, herbicidas, fertilizantes e resíduos animais visando aumentar a produtividade agrícola, que, se manejados de maneira inadequada, podem contaminar os mananciais (ALLAN, 2004).

Considerações metodológicas: Apesar de serem pouco representativas, algumas regiões da área de estudo podem apresentar formações vegetais do bioma cerrado, onde a classe 'Herbáceo/Arbórea' e a 'Pasto/Gramíneas' poderiam ser consideradas como a cobertura natural.

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

Nome do indicador: Proporção de 'Solo exposto' (*p_solo*)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Solo exposto' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Solo exposto' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_solo = \frac{\text{Área}_{(Soloexposto \cap célula)}}{\text{Área}_{(célula)}} \times 100$$

Justificativa: As áreas de 'Solo exposto' estão associadas a processos erosivos em curso ou vegetação de gramíneas esparsa. Nestas regiões o solo é altamente impermeabilizado, favorecendo o escoamento superficial, e contribuindo para a ocorrência/agravamento de processos erosivos e, consequentemente, aumentar a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais.

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

Nome do indicador: Proporção de 'Área construída' (*p_const*)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Área construída' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Área construída' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_const = \frac{\text{Área}_{(\text{Área construída} \cap \text{célula})}}{\text{Área}_{(\text{célula})}} \times 100$$

Justificativa: As 'Áreas construídas' estão associadas a áreas urbanas, onde a cobertura é impermeabilizada com edificações e pavimentos, e a água é conduzida através das galerias de águas pluviais. Estas mudanças na cobertura da terra impactam o ciclo hidrológico de diversas maneiras: *a*) reduzindo a infiltração no solo; *b*) reduzindo o escoamento subterrâneo; *c*) aumentando a capacidade de escoamento superficial por meio de condutos, canais e impermeabilização da superfície, ocasionando aumentos nas vazões médias dos corpos hídricos; e *d*) produzindo e transportando sedimentos provocando assoreamento dos corpos d'água e transporte de poluente agregado ao sedimento, o que contamina as águas fluviais (TUCCI; MENDES, 2006).
Ademais, os resíduos sólidos e efluentes, domésticos e industriais, produzidos em áreas urbanas são fontes potenciais de poluição dos mananciais, caso sejam dispostos de maneira inadequada.

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

Nome do indicador: Proporção de 'Mineração' (p_miner)

Descrição: Para a construção deste indicador utilizou-se a classe 'Mineração' do mapeamento histórico de uso e cobertura da terra. A proporção de 'Mineração' em cada célula foi calculada utilizando o *plugin* de preenchimento de células do *software* Terra View 4.2.2 (INPE, 2013).

Cálculo do indicador:

$$p_miner = \frac{\text{Área}_{(Mineração \cap célula)}}{\text{Área}_{(célula)}} \times 100$$

Justificativa: Assim como as regiões de 'Solo exposto', nas 'Minerações' o solo é altamente impermeabilizado, favorecendo o escoamento superficial, e contribuindo para a ocorrência de processos erosivos e, consequentemente, aumento a produção de sedimentos que causam assoreamento e outras alterações nos mananciais.
Atividades mineradoras podem provocar danos graves aos mananciais. A água em contato com rochas mineralizadas pode ser contaminada por metais pesados e, por isso, as atividades de extração mineral representam uma fonte de alto potencial poluidor de águas subterrâneas e superficiais. Existem também riscos inerentes à operação das minerações, como vazamento de rejeitos (MECHI; SANCHES, 2010; WENDLAND; MARIN, 2013).

Fonte do dado: Mapeamento de uso e cobertura da terra, descrito na Seção 3.2.2.1, utilizando dados dos satélites/sensores Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI.

APÊNDICE C - MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA

Figura C.1 - Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 1985.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura C.2 - Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 1991.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura C.3 - Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 2000.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura C.4 - Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 2010.

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura C.5 - Mapa de uso e cobertura da terra da APA-MRPS para o ano 2015.

Fonte: Produzido pelo autor.

APÊNDICE D - MAPAS RGB DOS INDICADORES SINTÉTICOS DE 2000 E 2010

Figura D.1 - Mapa das dimensões do iSAM em composição RGB para o ano 2000.

Fonte: Produzido pelo autor.

O mapa acima é composto pela mistura de cores aditivas RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), onde cada cor corresponde ao indicador de cada uma das dimensões econômica, ecológica e social, respectivamente.

Figura D.2 - Mapa das dimensões do iSAM em composição RGB para o ano 2010.

Fonte: Produzido pelo autor.

O mapa acima é composto pela mistura de cores aditivas RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), onde cada cor corresponde ao indicador de cada uma das dimensões econômica, ecológica e social, respectivamente.