

ERRATA

Eu, Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima, ex-aluno do curso de Doutorado em Engenharia Civil, informo que deve-se considerar a seguinte errata no título da tese nas páginas i, ii, iii e viii:

onde se lê: Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de mudança na determinação de serviços ecossistêmicos. Estudo de caso: Ilha de São Sebastião – SP/Brasil

Leia-se: Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de mudanças na determinação de serviços ecossistêmicos. Estudo de caso: Ilha de São Sebastião – SP

Sem mais.



Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima



Profa. Dra. Rozely Ferreira dos Santos

Orientadora



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,

ARQUITETURA E URBANISMO

**Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de
mudança na determinação de serviços ecossistêmicos. Estudo
de caso: Ilha de São Sebastião – SP/Brasil**

Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima

Campinas

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima

**Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de
mudança na determinação de serviços ecossistêmicos. Estudo
de caso: Ilha de São Sebastião – SP/Brasil**

Tese de Doutorado apresentado à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos Energéticos e Ambientais

Orientadora: Rozely Ferreira dos Santos

Campinas
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L628m Lima, Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de
Metodologia para avaliação de forças motoras e
vetores de mudança na determinação de serviços
ecossistêmicos. estudo de caso: Ilha de São Sebastião –
SP/Brasil / Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de
Lima. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Rozely Ferreira dos Santos.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Planejamento ambiental. 2. Ecologia da paisagem.
3. Água - Qualidade. 5. Environmental planning. I.
Santos, Rozely Ferreira dos. II. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Methodology for driving forces and change vectors evaluation
in the determination of ecosystem services. case study: São
Sebastião Island - SP / Brazil

Palavras-chave em Inglês: Landscape ecology, Water - Quality
Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais
Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Paulo Sergio Franco Barbosa, Edson Aparecido Abdul
Nour, Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli, Moyses
Gonzalez Tessler

Data da defesa: 09-11-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

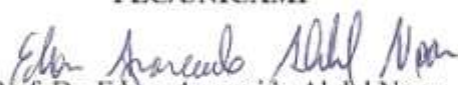
**Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de mudança na
determinação de serviços ecossistêmicos. Estudo de caso: Ilha de São Sebastião –
SP/Brasil**

Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima

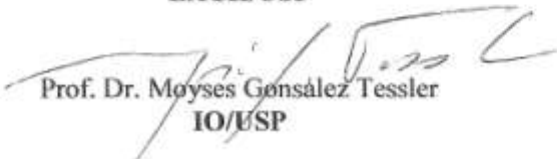
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dra. Rozely Ferreira dos Santos
**Presidente e Orientadora
FEC/UNICAMP**


Prof. Dr. Paulo Sergio Franco Barbosa
FEC/UNICAMP


Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour
FEC/UNICAMP


Prof. Dr. Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli
EACH/USP


Prof. Dr. Moyses González Tessler
IO/USP

Campinas, 9 de novembro de 2011

*Dedico este trabalho às mulheres da minha
vida: minha mãe, minhas tias e minha esposa*

Agradecimentos

Agradeço o apoio financeiro do CNPq/CTHidro para a realização desta tese. À Fundação Florestal e, em especial, à Claudia Shida e à Cristiane Leonel pelo material disponibilizado. Ao COTEC pela autorização das coletas de água e ao Parque Estadual de Ilhabela, em especial a Chefe do Parque, Carolina Bio Poletto, pelo apoio e material disponibilizado.

À FEC, em especial ao Departamento de Recursos Hídricos pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Um agradecimento especial à Secretaria do DRH (Miriam e Rosana) e da Pós-Graduação (Paula) pela ajuda e orientação durante todos esses anos.

Ao pessoal do LABSan-DSA: Enelton, Prof. Edson, Ligia e Fernando pela enorme ajuda e orientação na realização das análises químicas. À Fabiana Fracassi, ao Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo e ao pessoal do Laboratório de Ecologia Isotópica-CENA de Piracicaba, pela realização das análises de carbono.

Ao Sr. Ibsen Trench Gomes responsável pela DERSA em São Sebastião pelos dados de travessia da balsa. À Débora da CETESB pelas informações sobre a balneabilidade da Ilha. Ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e ao LASERE – FFLCH/USP pelas fotografias aéreas de 1962 e 1972. À Secretaria de Cultura de Ilhabela pela disponibilização do acervo fotográfico.

Ao Prof. Dr. Tadeu Meireles (USP) pela ajuda com a estatística.

Aos amigos(as) e parceiros(as) do LAPLA: Cidoca, Sueli (e a Juju), André, Marquinhos, Vero, Elisa & Érico, Chico, Claudio, Isa, Dani, Talita, Aninha, Flavinha,

João, Márcia e Ana Rosa. Vida Longa e Próspera a todos e, em especial, à Lidia S. Bertolo pela parceria nos trabalhos de Ilhabela.

À minha Querida Orientadora, por ter me aceito e me aturado por todos esses anos. Espero, sinceramente, que possa continuar trabalhando com você por muitos e muitos anos! Muito obrigado pela oportunidade de ser seu orientado.

A toda a minha família pela paciência, compreensão e apoio ao caminho que resolvi trilhar desde a graduação. E à minha família gaúcha, por sempre me aceitar de braços abertos.

E por último, mas não menos importante, à pessoa que escolhi para ser a minha parceira, amiga, cúmplice e amor por toda a vida: Vivian Hackbart.

I 'll see you in the dark side of the Moon...

RESUMO

LIMA, Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de. **TÍTULO: Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de mudança na determinação de serviços ecossistêmicos. estudo de caso: Ilha de São Sebastião – SP/Brasil.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2011. 179pg. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2011.

Diversos autores afirmam que é importante compreender as paisagens costeiras como uma área de transição entre sistemas terrestres e aquáticos, com faixas ecotonais. A compreensão desses aspectos é fundamental para o planejamento que visa manutenção da diversidade biológica e do fornecimento de serviços ecossistêmicos. Nessa linha, vários estudos relacionam as mudanças de uso da terra com variantes como a estrutura da paisagem, influência das forças motoras, os vetores de mudança, a oferta e a valoração de serviços ecossistêmicos de maneira segmentada, sem reunir os elos que formam essa cadeia de variáveis. Este estudo objetiva reunir esses elos de forma a (i) identificar a relação histórica entre forças indutoras das mudanças de uso e ocupação da terra, impactos e oferta de alguns serviços ecossistêmicos; (ii) investigar de que forma a relação entre complexidade estrutural de uma paisagem e a sua trajetória de uso nos diferentes estágios evolutivos podem refletir na oferta dos serviços ecossistêmicos; e (iii) medir, a partir da correlação

entre estrutura da paisagem e qualidade da água, a degradação da oferta de três serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos de cinco microbacias hidrográficas dentro de um gradiente de fases de evolução histórica. Foi possível qualificar as microbacias da Ilha de São Sebastião (SP) em cinco fases de evolução histórica, com seus respectivos vetores de mudança. As perdas de oferta de serviços ecossistêmicos para essas fases foram determinadas pela seleção de 13 indicadores da estrutura da paisagem e de qualidade da água.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos, forças motoras, vetores de mudança, métricas da paisagem, qualidade da água, Ilha de São Sebastião.

ABSTRACT

LIMA, Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de. **TÍTULO: Methodology for driving forces and change vectors evaluation in the determination of ecosystem services. Case study: São Sebastião Island - SP / Brazil.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2011. 179pg. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2011.

Several authors assert that is important understand coastal landscapes as a transition area between terrestrial and aquatic ecosystems, creating ecotonal zones. The comprehension of these aspects is essential for planning which aims maintaining biological diversity and providing ecosystem services. In this way, several studies have related land use changes with aspects such as landscape structure, driving forces, change vectors, supply and valuation of ecosystem services in a segmented way, without gathering the links that form this variables chain. This study aims to assemble these links in order to (i) identify the historical relationship between the driving forces that have induced changes in land use, impacts and supply some ecosystem services, (ii) investigate how the relation between structural complexity of a landscape and its history of use in different stages of evolution may be reflected in the supply of ecosystem services, and (iii) measure, using the correlation between landscape

structure and water quality, the degradation of three ecosystem services supply related to water resources in five watersheds, within a gradient of historical evolution phases. It was possible to classify the watershed of São Sebastião (SP) Island in five phases of historical evolution, with their respective change vectors. The loss of ecosystem services supply for these phases was determined from the selection of 13 indicators of landscape structure and water quality.

Keywords: ecosystem services, driving forces, vectors of change, landscape metrics, water quality, São Sebastião Island.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO NO LITORAL DE SÃO PAULO (ADAPTADO DE ROCHA E SILVA, 2009).....	4
FIGURA 2. NORMAIS DE PRECIPITAÇÃO E CHUVA MÁXIMA EM 24H PARA A REGIÃO DE ILHABELA, ENTRE 1961 E 1990. (FONTE: MILANESI, 2007).....	6
FIGURA 1.2. ALTERNÂNCIA DE IMPORTÂNCIA DE ATUAÇÃO DAS FORÇAS MOTORAS NA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO AO LONGO DOS SÉCULOS.....	17
FIGURA 1. 3. SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE ILHABELA (FONTE: CALI, 2006).....	19
FIGURA 1. 4. PROVÁVEL LOCALIZAÇÃO DAS PRIMEIRAS OCUPAÇÕES DO PERÍODO COLONIAL NA ILHA (ADAPTADO DE FBDS, 2004).	21
FIGURA 1. 5. ILHABELA PINTADA POR DEBRET, EM 1827. FOTOGRAFIA DA VILA NO INÍCIO DO SÉCULO XX (FONTE: ILHABELA.BLOGSPOT.COM/2009/12/ILHABELA, ACESSADO EM 15/12/2009; ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).....	22
FIGURA 1. 6. ENGENHO D'ÁGUA NA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO XX (FONTE: ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA), EVIDENCIANDO O DESMATAMENTO ENCOSTA ACIMA.....	23
FIGURA 1. 7. CROQUI DE 1897 DA ILHA E FOTO-MONTAGEM, INDICANDO OS LOCAIS ONDE HAVIA PRESENÇA DE CANHÕES. (IMAGEM ADAPTADA DA REVISTA DO INSTITUTO DE BOTÂNICA; CRÉDITOS DAS FOTOS: ADRIANA S. NAKAMURA – FEV/2004).	25
FIGURA 1. 8. CROQUI E FOTO-MONTAGEM EVIDENCIANDO A REDUÇÃO DA ÁREA DE FLORESTA PELO CAFÉ EM MEADOS DO SÉCULO XIX E FOTOS DAS ÁREAS AINDA DESMATADAS NO INÍCIO DO SÉCULO XX (ADAPTADO DE FRANÇA, 1954; ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).	27
FIGURA 1. 9. FOTO DA ILHA NO INÍCIO DO SÉCULO XX (ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).	29
FIGURA 1. 10. EQUIPAMENTO PARA MOAGEM DE CANA E COLHEITA NA ILHA NO INÍCIO DO SÉCULO XX (ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).....	30
FIGURA 1. 11. CROQUI MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ÁREAS DE PESCA DA ILHA E UMA FOTO MOSTRANDO O COMÉRCIO DE PEIXES (FONTE: ADAPTADO DE FRANÇA, 1954; ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).....	32
FIGURA 1. 12. CROQUI MOSTRANDO AS ÁREAS DE CULTIVO NA PRAIA DE CASTELHANOS NA DÉCADA DE 1950 (ADAPTADO DE FRANÇA, 1954).....	33
FIGURA 1. 13. EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DA ILHA E A COMPARAÇÃO COM A REGIÃO DO LITORAL NORTE PAULISTA, DESTACANDO AS DATAS DE ABERTURA DAS ESTRADAS NA REGIÃO (MODIFICADO DE SEADE, 2010; NOFFS, 2007).	34
FIGURA 1. 14. LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ESTRADAS NO LITORAL NORTE.	36
FIGURA 1. 15. ATUAÇÃO DA FORÇA DE URBANIZAÇÃO E TURISMO PROMOVENDO O DESENVOLVIMENTO DE INFRAESTRUTURAS PARA ATENDIMENTO AO TURISMO CRESCENTE NA ILHA NA DÉCADA DE 1940 (ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).....	36
FIGURA 1. 16. TRAVESSIA DE CARROS PELA BALSA E DETALHE DA PISTA DE POUSO E ESTRADA SP-131 NA REGIÃO DA PONTA DA PEQUEÁ (ACERVO SECRETARIA DE CULTURA DE ILHABELA).	37

FIGURA 1. 17. LOCALIZAÇÃO DA ESTRADA PARA CASTELHANOS E EVOLUÇÃO DA URBANIZAÇÃO DA REGIÃO DA BARRA VELHA E PEREQUÊ NAS DÉCADAS DE 1960 E 1970, E (MODIFICADO DE GUIMARÃES, 2006).	39
FIGURA 1. 18. LOCALIZAÇÃO DO YATCH CLUB ILABELA NO SACO DO SOMBRIO (FOTO: NOFFS, 2007).	43
FIGURA 1. 19. LINHA DO TEMPO E ATUAÇÃO DAS FORÇAS MOTORAS NAS ESCALAS LOCAL, ESTADUAL E FEDERAL.	45
FIGURA 1. 20. EVOLUÇÃO DA PAISAGEM NA ILHA, EVIDENCIANDO AS PERDAS E GANHOS DA FLORESTA EM RELAÇÃO AOS PERÍODOS DE ATUAÇÃO DE FORÇAS MOTORAS (BASEADO EM FRANÇA, 1954 E BERTOLO, 2009).	46
FIGURA 1. 21. VARIAÇÃO DE INTENSIDADE E DE LOCALIZAÇÃO DAS FORÇAS MOTORAS AO LONGO DO TEMPO E DOS QUATRO SETORES DENOMINADOS NESTE ESTUDO COMO NORTE, SUL, LESTE E OESTE. AC: FORÇA MOTORA DE ATIVIDADES COSTEIRAS; RR: FORÇA MOTORA DE RURALIZAÇÃO; UT: FORÇA MOTORA DE URBANIZAÇÃO E TURISMO.	47
FIGURA 1. 22. PROVÁVEL DISPONIBILIDADE DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PARA CADA UM DOS QUATRO SETORES DA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO, DE ACORDO COM AS RELAÇÕES FUNCIONAIS ENTRE TIPOS DE SERVIÇOS, GRAU DE PERDA DA BIODIVERSIDADE E AS FORÇAS MOTORAS (ADAPTADO DE BRAAT E TEM BRINK, 2008).	50
FIGURA 2. 1. REGRAS PARA A DETERMINAÇÃO DO SINAL NAS MUDANÇAS TIPOLÓGICAS E ÍNDICE DE CONSERVAÇÃO (IC).	62
FIGURA 2.2. ESQUEMA METODOLÓGICO E APLICAÇÃO (ADAPTADO DE BERTOLO <i>ET AL.</i> , 2009).	64
FIGURA 2.3. EQUAÇÃO DA CURVA PARA DEFINIÇÃO DOS VALORES DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PARA AS CLASSES DE AGRUPAMENTO ARBÓREO, VEGETAÇÃO EM ESTÁGIO PRIMÁRIO DE REGENERAÇÃO E VEGETAÇÃO EM ESTÁGIO SECUNDÁRIO INICIAL, BASEADA NAS INFORMAÇÕES DESCRITAS POR TABARELLI E MANTOVANI (1999).	66
FIGURA 2.4. ATUAÇÃO DAS FORÇAS MOTORAS NA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO. N, O, S E L – SETORES COM LINHAS PRÓPRIAS DE EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO.	70
FIGURA 2.5. A. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES MAPEADAS, APRESENTANDO EM DETALHE AS MUDANÇAS EM UM TRECHO DA ILHA. B. FLUXOS DE MUDANÇAS OBTIDOS PELA TABULAÇÃO CRUZADA ENTRE CLASSES DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL ENTRE 1987 E 2001. FES: FLORESTA EM ESTÁGIO SECUNDÁRIO; A.: ÁREA; C. CAMPO.	72
FIGURA 2.6. CLASSIFICAÇÃO DAS 61 MICROBACIAS DA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO EM CINCO FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM. EM DESTAQUE OS NÚMEROS DAS MICROBACIAS QUE FORAM ANALISADAS.	74
FIGURA 2.7. DISTRIBUIÇÃO DAS MICROBACIAS DA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO EM DIFERENTES FASES DE EVOLUÇÃO NOS QUATRO SETORES DENOMINADOS NESTE ESTUDO COMO NORTE, SUL, LESTE E OESTE.	76
FIGURA 2.8. LOCALIZAÇÃO DAS PLANÍCIES. (ADAPTADO DE FBDS, 2004).	77
FIGURA 2.9. MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS EM CINCO FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM SELECIONADAS PARA AVALIAÇÃO DETALHADA.	79
FIGURA 2.10. MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO DA TERRA, NÚMERO DE MANCHAS, SALDO DA CONSERVAÇÃO E VETORES DE MUDANÇA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS EM QUATRO FASES DE EVOLUÇÃO.	80
FIGURA 2.11. EXEMPLO DO PRODUTO DA TABULAÇÃO CRUZADA PARA A MICROBACIA DE EXPLORAÇÃO E O CÁLCULO DO VALOR DAS CLASSES POR HECTARE.	85
FIGURA 2.12. VALORES DAS CLASSES DE MAPEAMENTO NAS MICROBAIAS NAS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM A PARTIR DO CÁLCULO DA TABULAÇÃO CRUZADA ENTRE AS ANOS DE 1962 E 2001. VES: VEGETAÇÃO NATURAL EM DIFERENTES ESTÁDIOS SUCESSIONAIS; AG.: AGRUPAMENTO; CONS: CONSERVAÇÃO; REG: REGULAÇÃO; EXP: EXPLORAÇÃO; URB: URBANIZAÇÃO; REFERÊNCIA: DADOS OBTIDOS PELA TABELA 2.2 (CONJUNTO DE SERVIÇOS).	86
FIGURA 2.13. DISTÂNCIA DO OFERECIMENTO DOS SERVIÇOS EM RELAÇÃO AO CENÁRIO IDEAL (MICROBACIA DE PRESERVAÇÃO) E O VALOR DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS POR HECTARE PARA CADA FASE. 2001-1962: VALORES OBTIDOS PELA TABULAÇÃO CRUZADA.	88
FIGURA 2.14. POSSÍVEL TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO NA OFERTA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NAS DIFERENTES FASES DE EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PAISAGEM.	90
FIGURA 2.15. VALORES DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NOS ANOS DE 1962 E 2001 PARA AS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PAISAGEM. CONS: CONSERVAÇÃO; REG: REGENERAÇÃO; EXP: EXPLORAÇÃO; URB: URBANIZAÇÃO; REG: REGULAÇÃO.	91
FIGURA 3. 1. EXEMPLO DA UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA (PQA) E SUA REALÇÃO COM AS MÉTRICAS DA PAISAGEM E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.	108

FIGURA 3. 2. IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS PARA COLETA DE ÁGUA. A LINHA EM AMARELO INDICA A ALTURA DA COTA DE 100M E AS LETRAS INDICAM: A) PONTO ANTES DE QUALQUER LANÇAMENTO DE EFLUENTE; B) PONTO APÓS TODAS AS MODIFICAÇÕES ANTRÓPICAS AO LONGO DO ECÓTONO, MAS SEM A INFLUÊNCIA DA ÁGUA MARINHA; E C) PONTO NA FOZ DO RIO SOB INFLUÊNCIA DA ÁGUA MARINHA.	109
FIGURA 3. 3. ESQUEMA DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS, E SUA INFERÊNCIA NOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	112
FIGURA 3. 4. MAPEAMENTO PARA O ANO DE 2009 DAS CINCO MICROBACIAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO. PRE: PRESERVAÇÃO; CONS: CONSERVAÇÃO; REG: REGENERAÇÃO; EXP: EXPLORAÇÃO; URB: URBANIZAÇÃO.....	114
FIGURA 3. 5. COMPARAÇÃO ENTRE OS ANOS DE 1962, 2001 E 2009 PARA AS QUATRO CLASSES DE MAPEAMENTOS QUE DEFINIRAM AS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO HISTÓRICA DENTRO DOS MOMENTOS DESCRITOS POR BERTOLO <i>ET AL.</i> (2010), COMO ETAPAS DE TRANSFORMAÇÃO DENTRO DA FASE DE EVOLUÇÃO. F A: FLORESTA EM ESTÁDIO MÉDIO-AVANÇADO; F I: FLORESTA EM ESTÁDIOS INICIAIS; CA: CAMPO ANTRÓPICO; AU: ÁREA URBANIZADA.....	115
FIGURA 3. 6. ÁREA OCUPADA PELAS PRINCIPAIS CLASSES DE MAPEAMENTO NAS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM PARA O MAPEAMENTO DE 2009. AA: ÁREA ANTROPIZADA; FAM A: FLORESTA ALTO MONTANA NO ESTÁDIO MÉDIO/AVANÇADO; FM A: FLORESTA MONTANA NO ESTÁDIO MÉDIO/AVANÇADO; FSM I: FLORESTA SUBMONTANA NO ESTÁDIO INICIAL; FSM R, I: FLORESTA SUBMONTANA NO ESTÁDIO INICIAL COM REMANESCENTES; FSM A: FLORESTA SUBMONTANA NO ESTÁDIO MÉDIO/AVANÇADO; FM I: FLORESTA MONTANA NO ESTÁDIO INICIAL; FM R, I: FLORESTA MONTANA NO ESTÁDIO INICIAL COM REMANESCENTES; FSM PIO: FLORESTA SUBMONTANA PIONEIRA; OUTRAS CLASSES: OUTRAS CLASSES DE MAPEAMENTO.	116
FIGURA 3. 7. MÉDIAS DE ENTRADAS DE PESSOAS E VEÍCULOS NA ILHA POR MÊS NOS ANOS DE 2009 E 2010. EM DESTAQUE, A MÉDIA DE ENTRADA NOS DIAS ANTERIORES ÀS COLETAS. DADOS FORNECIDOS PELA DERSA S.A.	120
FIGURA 3. 8. VALORES DE PLUVIOSIDADE ACUMULADA POR MÊS E O TOTAL ACUMULADO, PARA O ANO DE 2010 E O ACUMULADO TOTAL DE REFERÊNCIA (MILANESI, 2007). DADOS PARA O ANO DE 2010 CONSEGUIDOS JUNTO AO CIIAGRO.	120
FIGURA 3. 9. VARIAÇÃO DOS VALORES DE TURBIDEZ ENTRE AS FASES DENTRO DO PERÍODO DE COLETA. EM DESTAQUE OS VALORES E FOTOS DA TERCEIRA E QUARTA SAÍDAS PARA A MICROBACIA NA FASE DE CONSERVAÇÃO, MOSTRANDO A ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.	123
FIGURA 3. 10. IDENTIFICAÇÃO DA TENDÊNCIA À DILUIÇÃO OU CONCENTRAÇÃO NOS PONTOS LOCALIZADOS NA FOZ DOS RIOS. SETAS VERMELHAS INDICAM OS PERÍODOS DE PREAMAR (ENCHENTE); AS SETAS AZUIS OS PERÍODOS DE BAIXAMAR (VAZANTE); AS PRETAS INDICAM A TENDÊNCIA AO AUMENTO (PARA CIMA) OU DIMINUIÇÃO (PARA BAIXO) DAS CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS ENTRE OS PONTOS B-C.	125
FIGURA 3. 11. COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA. A: PONTO A MONTANTE (OU MAIS ALTO); B: PONTO INTERMEDIÁRIO; C: PONTO NA FOZ DO RIO, SOB A INFLUÊNCIA DA ÁGUA DO MAR. O PONTO C PARA CONDUTIVIDADE, SÓLIDOS TOTAIS E ZN (ZINCO) FOI EXCLUÍDO POR APRESENTAR VALORES MUITO ALTOS, DEVIDO A CONCENTRAÇÃO DESTES PARÂMETROS NA ÁGUA DO MAR.	126
FIGURA 3. 12. INFLUÊNCIA DAS DESCARGAS DOS RIOS NO AMBIENTE COSTEIRO.....	128
FIGURA 3. 13. COMPORTAMENTO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) EM DOIS GRUPOS DE FASES.	130
FIGURA 3. 14. DEGRADAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS MEDIDO POR MÉTRICAS E PELA OCORRÊNCIA DE FLORESTAS AO LONGO DO GRADIENTE DE FASES DE EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PAISAGEM.	133
FIGURA 3. 15. DEGRADAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PARA O PQA AO LONGO DO GRADIENTE ECOTONAL PARA AS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM.	135
FIGURA 3. 16. DEGRADAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PARA O PQA E MÉTRICAS DA PAISAGEM AO LONGO DO GRADIENTE ECOTONAL PARA AS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM.	137
FIGURA 3. 17. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (MATRIZ DE COVARIÂNCIA) PARA AS FASES DE EVOLUÇÃO HISTÓRICA, PONTOS DE COLETA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA, DESTACANDO OS ESCORES DOS TRÊS PRINCIPAIS EIXOS E AS SUAS PORCENTAGENS DE VARIÂNCIA.....	139

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1. SUMÁRIO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA RECONSTRUÇÃO ESPACIAL DA HISTÓRIA.	14
TABELA 1.2. DEGRADAÇÃO NO OFERECIMENTO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS CAUSADAS PELO AUMENTO DAS ATIVIDADES RELACIONADAS À FORÇA MOTORA URBANIZAÇÃO E TURISMO.	41
TABELA 2. 1. SUMÁRIO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA RECONSTRUÇÃO ESPACIAL DAS FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM E SEUS VETORES DE MUDANÇA.	61
TABELA 2. 2. RELAÇÕES ENTRE ESTRUTURAS FISIONÔMICAS, CLASSES DE MAPEAMENTO E COEFICIENTES DE VALOR.	67
TABELA 2. 3. VALORES DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PARA AS CLASSES DE MAPEAMENTO NAS DIFERENTES FASES DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM. CONS: CONSERVAÇÃO; REG – REGENERAÇÃO; EXP – EXPLORAÇÃO; URB – URBANIZAÇÃO.	84
TABELA 2. 4. SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES DA ANÁLISE DA PAISAGEM NAS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO.	93
TABELA 3. 1. LEGENDA DO MAPA DAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, BASEADA EM BERTOLO E PAVÃO (COMUNICAÇÃO PESSOAL) E OBSERVAÇÕES DE CAMPO.	103
TABELA 3. 2. MÉTRICAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DA PAISAGEM.	104
TABELA 3. 3. VARIÁVEIS, METODOLOGIAS ANALÍTICAS E APLICAÇÕES.	106
TABELA 3. 4. MÉTRICAS DA PAISAGEM UTILIZADAS PARA DESCRIÇÃO DAS FASES DE EVOLUÇÃO DAS CINCO MICROBACIAS.	117
TABELA 3. 5. VALOR DO R^2 DA APLICAÇÃO DA CURVA DE TENDÊNCIA POLINOMIAL DE 2º ORDEM PARA AS CINCO FASES DE EVOLUÇÃO E OS DADOS DE MÉTRICAS DA PAISAGEM.	119
TABELA 3. 6. VALORES DE CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE ACUMULADA DE TRÊS DIAS ANTERIORES À COLETA DE ÁGUA E OS VALORES ENCONTRADOS PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA. OS VALORES EM NEGRITO REFEREM-SE À CORRELAÇÃO $\geq 0,5$	121
TABELA 3. 7. RELAÇÃO ENTRE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E ELEMENTOS DE QUALIDADE DA ÁGUA, ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DA FLORESTA E MÉTRICAS, PONDERADOS DE ACORDO A CAPACIDADE DE RESPONDER AS FASES DE EVOLUÇÃO DAS MICROBACIAS E AO ECÓTONO.	132
TABELA 3. 8. RESULTADO DA CORRELAÇÃO ENTRE OS EIXOS DA ACP E AS MÉTRICAS DA PAISAGEM. EM VERMELHO AS CORRELAÇÕES SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) E, EM PRETO, AS TENDÊNCIAS FORA DO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA.	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – graus Celsius

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S.A.

FBDS – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

ha - hectare

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAPLA – Laboratório de Planejamento Ambiental

M.A. – Avaliação Ecossistêmica do Milênio

m³/ha – metros cúbicos por hectare

mg/L – miligrama por litro

mL – mililitro

mm - milímetros

PEIb – Parque Estadual de Ilhabela

pH – Potencial Hidrogeniônico

PQA – Parâmetro de Qualidade da Água

RMS – Erro Quadrático Médio (em inglês: *Root Mean Square*)

SAD (69) – *South American Datum*

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS (2000) – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

US\$. ano⁻¹ – dólares por ano

US\$. ha⁻¹. ano⁻¹ – dólares por hectare-ano

UTM – Projeção Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2. ÁREA DE ESTUDO	3
3. BIBLIOGRAFIA	8
CAPÍTULO 1	10
IDENTIFICAÇÃO DAS FORÇAS MOTORAS INDUTORAS DE MUDANÇA DA PAISAGEM DA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO/SP: RELAÇÕES HISTÓRICAS E OFERTA DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	10
1.1 INTRODUÇÃO	10
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	13
1.2.1 Estratégias e métodos de estudo	13
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
1.3.1 A história da Ilha – ciclos, forças motoras e organização do espaço	18
1.3.1.1 Período pré-colonial	18
1.3.1.2 Do século XVI ao XVIII, o início da ocupação do espaço	19
1.3.1.3 Século XIX – a devastação pelo café	25
1.3.1.4 Século XX	28
1.3.1.5 O presente e o futuro da Ilha	42
1.3.2 Atuação das forças motoras ao longo da história e o estado de conservação ambiental da Ilha: uma síntese.....	44
1.4. CONCLUSÃO	51
1.5. BIBLIOGRAFIA	52
CAPÍTULO 2	58
MEDIDAS DA TRAJETÓRIA EVOLUTIVA DE UMA PAISAGEM COSTEIRA. ESTUDO DE CASO: ILHA DE SÃO SEBASTIÃO – BRASIL.....	58
2.1. INTRODUÇÃO	58
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60

2.2.1 Delineamento metodológico	60
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
2.4. CONCLUSÕES	94
2.5. BIBLIOGRAFIA	95
CAPÍTULO 3	99
A OFERTA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS AVALIADA PELA RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA DA PAISAGEM E QUALIDADE DA ÁGUA	99
3.1. INTRODUÇÃO	99
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	102
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
3.3.1 <i>As cinco fases de evolução podem ser retratadas pelas métricas de composição e de configuração da paisagem?</i>	112
3.3.2 <i>Como se comportam os parâmetros de qualidade da água nas cinco fases de evolução histórica da paisagem? Como eles podem ser utilizados para avaliar as alterações na oferta de serviços ecossistêmicos nas diferentes fases?</i>	119
3.3.3 <i>Qual a influência da estrutura da paisagem e da qualidade da água na variação da oferta dos serviços ecossistêmicos sob um gradiente histórico de evolução da paisagem?</i>	131
3.4. CONCLUSÃO	142
3.5. BIBLIOGRAFIA	142
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146
ANEXOS	148
ANEXO 1 – VALORES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA OBTIDOS AO LONGO DAS QUATRO CAMPANHAS AMOSTRAIS NOS TRÊS PONTOS DE AMOSTRAGEM DOS RIOS DAS CINCO MICROBACIAS ANALISADAS.	149
ANEXO 2 – RESULTADOS TABELADOS OBTIDOS DO CÁLCULO DA DEGRADAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PARA AS MÉTRICAS DA PAISAGEM AO LONGO DO GRADIENTE DE FASES, DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DA SOMATÓRIA DAS MÉTRICAS E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CADA TRECHO DO ECÓTONO E A SUA RESPECTIVA SOMATÓRIA.....	157

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As áreas costeiras no Brasil podem ser definidas como zonas de múltiplos usos, pois ao longo de sua extensão é possível encontrar variadas formas de uso e ocupação das terras - desde comunidades vivendo sob modos de vida tradicionais até grandes áreas urbanas (MORAES, 1999). Esta multiplicidade de usos e de áreas naturais protegidas, enriquecida pela convivência entre padrões díspares, resulta em grandes conflitos, aonde o papel do planejamento ambiental adquire maior destaque.

Neste quadro, a zona litorânea no Estado de São Paulo, além de reproduzir os processos de valorização do espaço comuns a outras porções do território nacional, apresenta oportunidades e usos distintos, ora em função de sua história, ora em função de suas características geográficas. Tais potencialidades vêm resultando num processo de uso e ocupação cada vez mais intenso e veloz, fortalecidos por múltiplos vetores de desenvolvimento, entre os quais se destacam três grandes forças motoras: a urbanização, a industrialização e a exploração turística (HAUFF e MILANO, 2003). Sendo assim, para identificar a lógica destes processos é necessário compor os cenários em que se dá esse movimento, o que implica avaliar historicamente o desbravamento e o uso dos recursos naturais (GIRARDI *et al.*, 2005).

No entanto, além de avaliar os vetores de transformação da paisagem costeira, o planejamento deve preponderar os seus aspectos ecológicos intrínsecos, que são fundamentais para a manutenção da diversidade biológica e para o

fornecimento dos serviços ecossistêmicos¹, cuja demanda humana vem crescendo rapidamente, ultrapassando em muitos casos a capacidade dos ecossistemas de fornecê-los. Dessa forma, faz-se premente não apenas o esforço de compreensão da dinâmica inerente aos elementos estruturais da paisagem, mas também é de fundamental importância entender quais são os mecanismos de interação entre os fatores de mudança dos ecossistemas e sua capacidade de geração de serviços ecossistêmicos, bem como seus impactos adversos (ANDRADE e ROMEIRO, 2009).

Vários estudos relacionam as mudanças de uso da terra com outras variantes como a estrutura da paisagem, influência das forças motoras, os vetores de mudança, a oferta e a valoração de serviços ecossistêmicos (KREUTER *et al.*, 2001; KREMEN, 2005; MOBERG & RÖNNBÄCK, 2003; BARBIER *et al.*, 2008), mas de maneira segmentada, sem reunir os elos que formam essa cadeia de variáveis. Para responder sobre serviços ecossistêmicos é necessário interpretar, efetivamente, todos esses elos.

Nesta direção, este estudo parte da premissa de que a melhor forma de se avaliar as perdas de serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas costeiras é por meio da identificação e medida da atuação das forças motoras e os seus reflexos na trajetória evolutiva da paisagem, na formação de fluxos e vetores de mudança, na estrutura da paisagem. Para tanto, o estudo foi dividido em três capítulos. No Capítulo 1 o objetivo foi relacionar as forças motoras atuantes em cinco séculos na Ilha de São Sebastião (SP) com as mudanças nessa macropaisagem, inferindo sobre os prováveis serviços ecossistêmicos atingidos pelas transformações ocorridas ao longo do tempo. O Capítulo 2 trabalhou em uma escala de maior detalhe, investigando a hipótese de que a trajetória evolutiva de uma paisagem costeira, produzida pela ação das forças motoras de mudança, pode ser medida por meio da análise da complexidade estrutural de cada fração do território, que por sua vez pode ser traduzida em vetores de mudança e valoração da oferta global de serviços ecossistêmicos. O Capítulo 3 parte das cinco fases de evolução das microbacias reconhecidas no Capítulo 2, construindo a hipótese

¹ A definição utilizada neste trabalho baseia-se na Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2005) no qual serviços ecossistêmicos são entendidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, incluindo os serviços de abastecimento, de regulação e de bens culturais, que afetam diretamente as pessoas, além dos serviços de apoio necessários para manter os outros serviços.

de que o gradiente de evolução observado tem uma correspondência direta com indicadores da estrutura da paisagem e da qualidade da água que, por sua vez, podem ser traduzidos em serviços ecossistêmicos ligados aos recursos hídricos.

A escolha da Ilha de São Sebastião como área de estudo se justifica pela grande área de Mata Atlântica preservada, pela alta concentração de uso urbano e pela possibilidade de se ter um sistema completo, de gradiente ecotonal e com interdependências e fluxos concentrados.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de São Sebastião, sede do município de Ilhabela, possui 92% da área de Mata Atlântica preservada sendo considerado o município brasileiro com maior relação área/Mata Atlântica do país². Dessa forma, a Ilha tem uma grande importância para a conservação da biodiversidade, a manutenção dos sistemas ecológicos e fornecimento de serviços ecossistêmicos representativos do bioma Mata Atlântica remanescentes no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1996).

Inserida no Litoral Norte do Estado de São Paulo, a 220 km da capital paulista, a Ilha de São Sebastião (Figura 1) é separada do continente pelo Canal de São Sebastião, que apresenta largura de 1,5 km na região de travessia da balsa. O município de Ilhabela possui uma área de 348,3 km² e 28.176 habitantes (SEADE, 2010), com uma densidade demográfica de 80,9 habitantes/km², ou seja, menos da metade da densidade média do Estado de São Paulo. O município é formado por um arquipélago de 15 ilhas, sendo a principal (Ilha da São Sebastião) dividida em três distritos: o de Ilhabela (porção central), com 82,34% da população, o de Cambaquara (situada ao Sul do arquipélago), com 15,08% e o de Paranabi (trecho voltado ao Oceano Atlântico), com apenas 2,58%. Durante o período de férias, feriados e festas populares a população flutuante – originada das atividades de turismo - chega a ultrapassar 100 mil pessoas³.

² Fundação SOS Mata Atlântica, 2006

³ <http://www.ilhabela.org/numeros.htm>

As principais atividades econômicas da população estão ligadas à prestação de serviços relacionados ao turismo (86%), indústria da construção civil (12%), agropecuária e pesca (2%) (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHABELA, 2005; IBGE, 2007⁴). A maior parte da infra-estrutura turística (hotéis, pousadas e restaurantes), além do comércio em geral, bancos, hospital e escolas encontra-se na face da Ilha voltada para o canal.

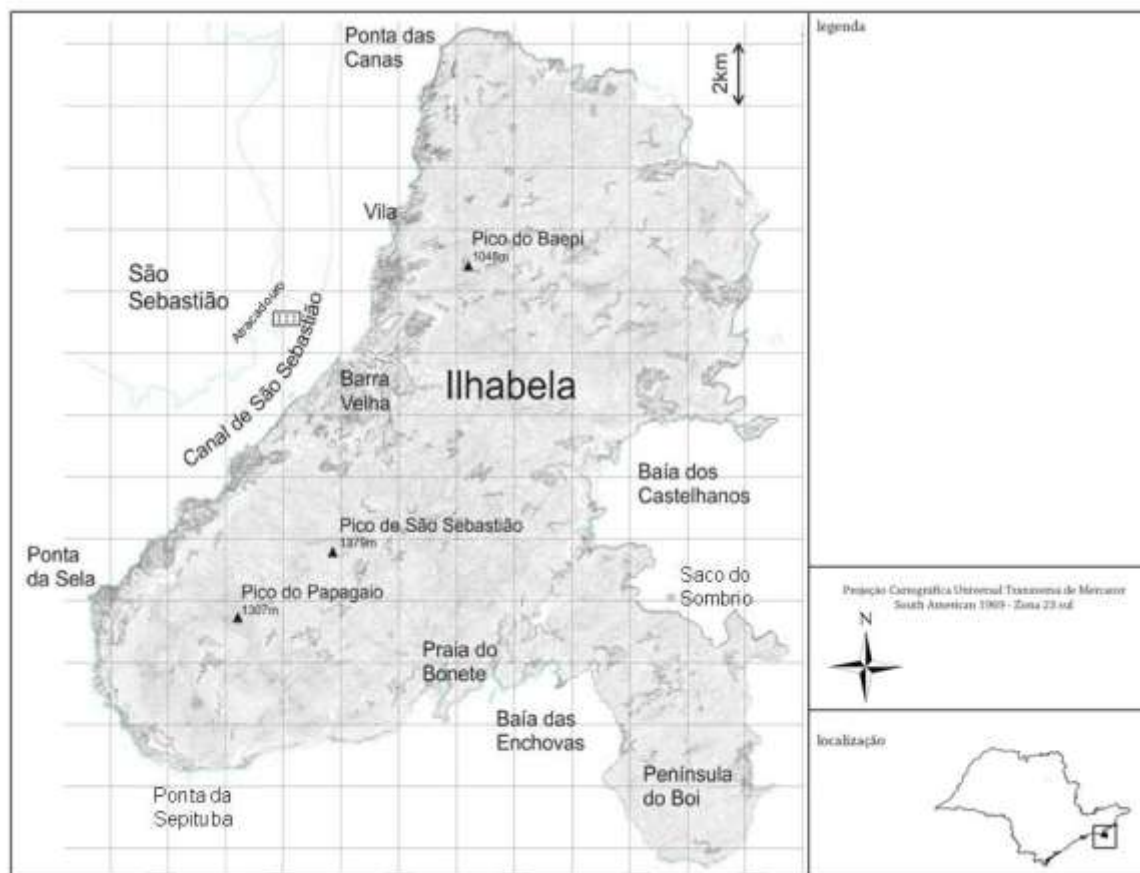


Figura 1. Localização da Ilha de São Sebastião no litoral de São Paulo (adaptado de ROCHA e SILVA, 2009).

O Parque Estadual de Ilhabela (PEIb), criado 1977 por meio do Decreto Estadual (SP) nº 9.414, abrange cerca de 85% da Ilha de São Sebastião. Seus limites são definidos por cotas altimétricas que variam entre 100 e 200 metros e a divisa com terrenos de marinha. No total, o PEIb engloba as ilhas das Cabras, Vitória, Serraria, Búzios e Sumítica, além de outras nove ilhas menores e 2 lajes (SÃO PAULO, 1998). Dos 15% do território da Ilha de São Sebastião não pertencentes ao Parque, apenas

⁴ <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=352040#>

2% são passíveis de ocupação⁵. Além disso, a faixa ocupada está inserida na zona de amortecimento do Parque, o que limita as possibilidades de uso da terra.

O relevo da Ilha pode ser considerado bastante irregular constituindo-se num grande bloco de morros escalonados, com pequenas praias e planícies encravadas em seus contornos mais proeminentes. Geomorfologicamente estão situados no compartimento da Província Costeira formado pelas zonas da Serrania Costeira/Serra do Mar (Colinas Médias, Morros, Montanhas, Corpos de Talus e Cones de Dejeção e Afloramentos Rochosos) e Baixadas Litorâneas (Praias Arenosas, Planícies Flúvio-Marinhas) (ALMEIDA, 1964).

As formações vegetacionais que ocorrem na Ilha estão associadas às fases de regeneração da Floresta Ombrófila Densa Atlântica (VELOSO *et al.*, 1991). Por encontrar-se em altitudes variadas há mudanças nesta floresta desde as planícies litorâneas, sobre solos aluviais ou depósitos marinhos, quase no nível do mar, até os topos dos morros. Por isso, fala-se em diversas florestas na encosta atlântica: nos topos de morros (Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana), nas encostas e nos fundos de vales (Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana), e nos sopés das serras e sobre as planícies costeiras (Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e Aluvial), onde se enquadram as formações de restinga.

No contexto oceanográfico do Litoral Norte de São Paulo, a Ilha de São Sebastião constitui um anteparo natural ao mar aberto, impedindo a ação direta de ondas sobre os ambientes costeiros que margeiam o canal. As correntes têm normalmente velocidade de um a dois nós, podendo alcançar quatro nós em situações de ventos fortes (MINISTERIO DA MARINHA, 1993). A direção predominante das correntes é no sentido nordeste (NE), estando essa direção relacionada a fatores atmosféricos (KVINGE, 1967).

A pluviosidade da Ilha foi estudada por MILANESI (2007) que descreveu o regime anual de chuvas regional como sendo composto por dois períodos bem definidos (Figura 2): (a) mais seco nos meses inverniais de julho, agosto e setembro; e (b) mais úmido nos meses de verão, sendo que os meses de dezembro e janeiro apresentam o triplo dos valores médios dos meses de inverno.

⁵ Website Litoral Virtual – www.litoralvirtual.com.br

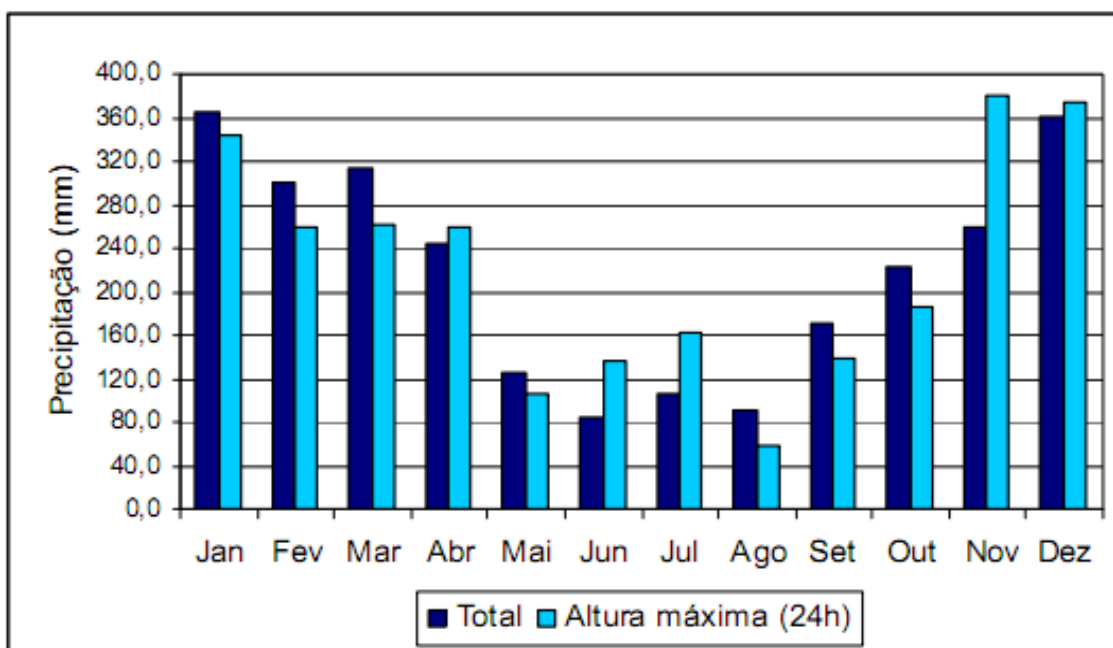


Figura 2. Normais de precipitação e chuva máxima em 24h para a região de Ilhabela, entre 1961 e 1990. (fonte: MILANESI, 2007).

Com relação aos recursos hídricos terrestres, POLETTE (1993) estudando a planície do Perequê afirmou que a quantidade de cursos d'água na Ilha é tão grande que a cada 300 metros existe um ribeirão ou córrego. Nesse estudo o autor mapeou 20 bacias hidrográficas divididas em relação à orientação da drenagem: para o Canal de São Sebastião (5), para a Baía de Castelhanos (5), ou para o Oceano Atlântico (10). Apesar da grande quantidade de cursos de água descritos na literatura, apenas três deles são regularmente monitorados pela CETESB: Rio Nossa Senhora da Ajuda (NSRA 02900), Rio Quilombo (QLOM 02950) e Córrego das Tocas (TOCA 02900), sendo este último monitorado em um segundo ponto denominado Ribeirão Água Branca. Pelos dados de 2008 apresentados no Relatório de Qualidade de Águas Interiores (CETESB, 2009 a) o Rio Quilombo apresentou um IQA variando de RUIM a BOM. Segundo a CETESB a qualidade RUIM, verificada em janeiro e março, foi influenciada pelas variáveis: Fósforo Total, Coliformes Termotolerantes e Oxigênio Dissolvido, que estão associadas ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento. A análise temporal indicou certa correlação entre a qualidade RUIM e o período de verão, quando houve um aumento da população flutuante.

Devido à falta de saneamento básico, os níveis de Coliformes Termotolerantes acima de 1.000 UFC/100 mL encontrados nos Rios Quilombo e Nossa Senhora da Ajuda estão entre os maiores encontrados para os rios do Litoral Norte. Estes elevados níveis podem trazer sérios prejuízos a balneabilidade das praias em que estas águas afluem (CETESB, 2009 a).

Quanto ao IET (Índice de Qualidade Trófica), o Ribeirão Água Branca e o Córrego da Toca enquadraram-se na condição ULTRAOLIGOTRÓFICA e OLIGOTRÓFICA, respectivamente, segundo suas médias anuais. Já os Rios Nossa Senhora da Ajuda e Quilombo, a média anual do IET indicou condição MESOTRÓFICA sendo que, na maioria dos meses monitorados pela CETESB, tanto as concentrações de Fósforo Total quanto a de Coliformes Termotolerantes estiveram acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, para rios da Classe 2, indicando contaminação por esgotos domésticos.

O Córrego das Tocas que serve de manancial para abastecimento do município de Ilhabela apresentou no ano de 2008 um IAP (Índice de Qualidade de Água para fins de Abastecimento Público) médio na categoria ÓTIMA (CETESB, 2009 a).

Para a balneabilidade das praias, o Relatório da CETESB (CETESB, 2009 b) descreve que a escolha das praias monitoradas na Ilha é função da frequência de banhistas, da fisiografia da praia e dos riscos de poluição que possam existir. Dessa forma, as praias que fazem parte da rede de monitoramento de balneabilidade possuem frequência elevada de banhistas, além da ocorrência de adensamento urbano próximo que represente possível fonte de poluição fecal.

Fazem parte da rede de monitoramento da CETESB 13 das 44 praias presentes na Ilha. Apesar do pequeno número, essas praias representam 53,6% da extensão total das praias, sendo que todas se encontram na costa voltada para o canal de São Sebastião.

Pelo Relatório da CETESB (2009 b), apesar das praias apresentarem melhora na qualidade quando comparadas com o ano de 2007, nenhuma praia monitorada ficou “Própria” o ano todo. Apenas a praia do Curral recebeu classificação anual Boa; as do Sino, Siriúba, Saco da Capela, Ilha das Cabras, Portinho, Feiticeira e

Grande receberam classificação anual Regular; e as praias da Armação, Pinto, Viana, Itaguaçu e Perequê receberam classificação anual Ruim.

3. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F.F.M de. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 99p. (Série Teses e Monografias), 1964.

ANDRADE, D.C. E ROMEIRO, A.R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma "Economia dos Ecossistemas". TextoparaDiscussão. IE/UNICAMP, n. 159. ISSN 0103-9466. 2009.

BARBIER, Edward B.; KOCH, Evamaria W.; SILLIMAN, Brian R. ; HACKER, Sally D. ; WOLANSKI, Eric ; PRIMAVERA, Jurgenne; GRANEK, Elise F. ; POLASKY, Stephen; ASWANI, Shankar ; CRAMER, Lori A.; STOMS, David M.; KENNEDY, Chris J.; BAEL, David; KAPPEL, Carrie V.; PERILLO, Gerardo M. E.; REED, Denise J. Coastal Ecosystem-Based Management with Nonlinear Ecological Functions and Values Science 319 (321), 2008.

CETESB a (SÃO PAULO). Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008. CETESB. São Paulo: CETESB, 2009. 528 p.

CETESB b (SÃO PAULO). Relatório de qualidade das águas litorâneas no estado de São Paulo 2008. CETESB. São Paulo: CETESB, 2009. 330 p

GIRARDI, A. C.; SANTOS, R. F.; MANTOVANI, W. Subsídios metodológicos para o planejamento e gestão de restingas - estudo de caso - Bertioga, SP. In: WALDIR MANTOVANI (Org.). Caminhos de uma ciência ambiental. São Paulo: Annablume Editora, 2005. p. 321-344.

HAUFF, S.N.; MILANO, M.S. Considerações sobre o uso de recursos naturais no entorno e em seis parques brasileiros. In: ANAIS DO III CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, Vol. I, Fortaleza-CE, Brasil, pp 316-326.

IBGE. Atlas Nacional do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007.

KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Ecology Letters, 8: 468-479. 2005.

KREUTER, U.; HARRIS, H.; MATLOCK, M.D. LACEY, R. Change in ecosystem services value in the San Antonio area Texas. Ecological Economics, 39: 333-346. 2001.

KVINGE, T. 1967. On the special current and water level variations in the Channel of São Sebastião (SP). Bolm Inst. Oceanogr., São Paulo, 16(1):23-38.

- MILANESI, M.A. Avaliação do Efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela-SP). Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Departamento de Geografia – USP, São Paulo, 141p, 2007.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONAMA, Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 mar. 2005.
- MOBERG, F. e RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean & Coastal Management*, 46: 27-46. 2003
- MORAES, A. C. R. Contribuições para a Gestão da Zona Costeira do Brasil: Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro. São Paulo. Ed. Hucitec, Edusp. Geografia: Teoria e Realidade, 47. 229p. 1999.
- POLETTE, M. 1993. Planície do Perequê/ilha de São Sebastião – diagnóstico e planejamento ambiental costeiro. São Carlos. 136p. Dissertação de mestrado em Ecologia e Recursos Naturais. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHABELA. Plano gestor de turismo – Estância Balneária Ilhabela, 2005.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado de Meio Ambiente. Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo: Parte I – Litoral. Secretaria de Energia, CESP. São Paulo: 30p. 1996.
- SÃO PAULO (Estado). Planos de manejo das unidades de conservação - Parque Estadual de Ilhabela. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 1998.
- SÃO PAULO. Decreto Estadual n.º. 9.414, de 20 de janeiro de 1977. Cria o Parque Estadual de Ilhabela. Casa Civil, São Paulo, SP, 20 jan. 1977.
- SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Relatório Estadual de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – 2010. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. 2010.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A., 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 123p.

CAPÍTULO 1

Identificação das forças motoras indutoras de mudança da paisagem da Ilha de São Sebastião/SP: relações históricas e oferta de serviços ecossistêmicos.

1.1 Introdução

As mudanças provocadas pelas relações entre homem e natureza ao longo do tempo deixam vestígios que podem ser facilmente percebidos se observados na escala de paisagem. Nesse sentido, mudanças causadas por ações humanas, no tempo e no espaço, podem ser consideradas intrínsecas a todas as paisagens (BÜRGI *et al.*, 2004). Isso faz com que as pesquisas em ecologia de paisagens sejam de grande importância para a compreensão das causas, processos e conseqüências do uso e cobertura da terra em diferentes escalas espaciais e temporais (DALE *et al.*, 2000; WU e HOBBS, 2002; BÜRGI *et al.*, 2004).

Na perspectiva de que a paisagem é o produto da relação homem-natureza e com elementos interconectados em permanente evolução (METZGER, 2001), o espaço se define como um conjunto de formas representativas das relações de produção, econômicas e sociais do passado e do presente. Assim, a estrutura e qualidade ambiental de uma paisagem observada em um tempo recente é o resultado dessas

relações que se concretizam (TEKLEMBERG *et al.*, 1997), deixando suas marcas em proporção a sua capacidade transformadora.

Essa abordagem levou, já na década de 1970, ao reconhecimento de que para efetivar uma análise histórica da paisagem é necessário reconhecer os momentos marcantes da transformação do lugar ao longo de um grande período (EETVELDE e ANTROP, 2004) e em múltiplas escalas espaço-temporais, pois os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas podem ser percebidos de formas diferentes a cada escala (SANTOS, 2004; LINDENMAYER e FISCHER, 2006; CHEN *et al.*, 2006). Dessa forma, pode-se concluir que avaliar mudanças na paisagem é conhecer o passado para compreender o presente, entender as pressões humanas através do tempo e inferir sobre o futuro (SANTOS, 2004).

Vários trabalhos em ecologia de paisagens buscam reconhecer os momentos chave de transformação do meio, no intuito de identificar os indutores responsáveis pelas mudanças (MARCUCCI, 2000; WOOD e HANDLEY, 2001; WU e HOBBS, 2002; BÜRGI *et al.*, 2004; EETVELDE e ANTROP, 2004; KLIJN, 2004; HUSTON, 2005; GEIST *et al.*, 2006; SCHNEEBERGER *et al.*, 2007). Esses indutores são costumeiramente chamados de forças motoras (SCHNEEBERGER *et al.*, 2007) e são descritos como a influência que provoca o tipo, a intensidade e a direção da mudança (BÜRGI *et al.*, 2004). A descrição da atuação das forças motoras em uma paisagem permite determinar (ou definir) períodos específicos relevantes para a mudança da paisagem, descrever o seu estado, os processos e as reações ao longo do tempo (LESER, 1991 *apud* NAVEH e LIEBERMANN, 1994).

No entanto, a seqüência, a intensidade e a duração das forças motoras em um lugar dependem tanto da trajetória histórica da região, quanto de suas características naturais, como características geográficas, climáticas e hidrológicas (HUSTON, 2005; GEIST *et al.*, 2006). Assim, uma paisagem exposta a uma variedade de forças motoras apresenta diferentes tipos e intensidades de mudança resultando em conjuntos reconhecíveis de manchas de sistemas naturais e usos antropogênicos de diferentes dimensões, formando mosaicos distintos (ANTROP, 2003; VALVERDE *et al.*, 2008). Apesar dessas acepções serem bem conhecidas, muitos estudos em ecologia de paisagens focam exclusivamente o arranjo espacial ou as tendências temporais

generalizadas, o que prejudica a compreensão da dinâmica evolutiva da paisagem ou de seus segmentos em diferentes escalas espaço-temporais (BERTOLO *et al.*, 2010).

A mesma dinâmica evolutiva que provoca arranjos espaciais na paisagem pode causar impactos significativos tanto na biodiversidade de plantas e animais quanto alterações nas propriedades do meio físico, prejudicando a capacidade dos ecossistemas de suportar as necessidades humanas (WANG *et al.*, 2006). Essas necessidades são derivadas das funções dos ecossistemas responsáveis pelo suporte a vida na Terra que, quando apropriados direta ou indiretamente pelo homem, são chamados de serviços ecossistêmicos (HUETING *et al.*, 1997; DE GROOT *et al.*, 2002; DALY e FARLEY, 2004 apud ANDRADE e ROMEIRO, 2009).

Dessa forma, a mesma força motora que modifica a paisagem privilegia a utilização de um conjunto de serviços ecossistêmicos em detrimento a outros. Quando a utilização de um ou um conjunto de serviços ultrapassa a capacidade de fornecimento do ecossistema há um desequilíbrio nas funções geradoras desses serviços. Esse desequilíbrio pode ou não ser desfeito dependendo da resiliência do ecossistema à ação da força motora em modificar a paisagem, podendo gerar impactos negativos (KREUTER *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2006).

Nesse sentido, partindo-se do pressuposto de que: (i) o uso e a ocupação de uma área, ao longo do tempo, imprimem na paisagem atual um conjunto de feições (estrutura e configuração) que é o resultado da ação de forças motoras; que (ii) essas forças podem ter diferentes naturezas e podem ser expressas em diferentes níveis ou escalas no território; e que (iii) as mudanças provocadas pelos diferentes usos e forças motoras utilizaram serviços ecossistêmicos diferentes; como interpretar as perdas de serviços ecossistêmicos que ocorreram ao longo do tempo que foram conseqüências da atuação de forças motoras em uma paisagem? Nesta direção, o presente trabalho tem por objetivo identificar a relação histórica entre forças indutoras das mudanças de uso e ocupação da terra, impactos e oferta de alguns principais serviços ecossistêmicos. Para verificar a aplicabilidade dos conceitos e questões abordados foi desenvolvido um estudo de caso na Ilha de São Sebastião (SP-BR). A escolha da Ilha se justifica pela trajetória histórica bem documentada desde início da colonização, grande área de Mata

Atlântica preservada, alto grau de urbanização e possibilidade de ter um sistema completo, de gradiente ecotonal, com interdependências e fluxos concentrados.

1.2 Material e Métodos

1.2.1 Estratégias e métodos de estudo

Para a construção do quadro histórico e o entendimento da dinâmica de uso e ocupação da paisagem costeira da Ilha ao longo de cinco séculos de ocupação (século XVI ao XXI) foram levantadas referências bibliográficas em bases de diversas bibliotecas e órgãos públicos do Estado de São Paulo e em *sites da internet*. Paralelamente, para obter subsídios relativos ao conhecimento da inserção histórica de Ilhabela frente à ocupação do litoral paulista, foram consultados outros tipos de publicações que tratam da história regional e de seus vínculos com o desenvolvimento e crescimento litorâneo, dentro do processo de "garimpagem", sem priorizar tipo ou temática documental (PIMENTEL, 2001). Todo esse levantamento foi sistematizado e as informações, sempre que possível, foram espacializadas em croquis (Tabela 1.1). Dessa forma, obteve-se uma cronologia das publicações e dos temas que mais se repetiram no universo da pesquisa bibliográfica, permitindo relacioná-las e contextualizá-las. Tal procedimento conduziu à identificação das linhas mestras da trajetória histórica e do reconhecimento dos principais momentos de transformação da Ilha (datas e fatos mais relevantes), permitindo desta maneira a categorização das forças motoras que induziram as mudanças no arranjo da paisagem.

A partir dessas informações e das datas ou períodos que se tem disponibilidade de fotografias aéreas ou imagens de satélite foi possível apontar as relações entre padrões ou medidas espaciais de mudança da paisagem com a atuação das forças motoras no território e fazer, inicialmente em escala generalizada, a interpretação espacializada da história do lugar. Para tanto, foi realizado um

mapeamento de uso, ocupação da terra e vegetação da Ilha pela fotointerpretação de fotografias aéreas de 1962, imagens dos satélites Landsat 5 de 1987 e Landsat 7 de 2001 (Tabela 1.1). Também foi usado como base para interpretação das mudanças o croqui de uso humano feito por FRANÇA (1954) na década de 1950 e fotos antigas disponíveis em arquivo público (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Sumário dos materiais utilizados para reconstrução espacial da história.

Data	Material	Fonte
Até 1950	Levantamento histórico, figuras e imagens obtidas em textos antigos	Bases Scielo, ATHENA (UNESP), SOPHIA (UNICAMP), DEDALUS (USP), Biblioteca Municipal de São Sebastião, Biblioteca Pública “ <i>Prefeita Nilce Signorini</i> ” (Ilhabela), e em órgãos públicos do Estado de São Paulo (CETESB, DERSA, Instituto Agrônomo de Campinas) e em <i>sites da internet</i>
Década de 1950	Coleção de fotos antigas da Ilha de São Sebastião	Secretaria da Cultura do Município de Ilhabela
1954	Croqui de uso da terra da Ilha de São Sebastião	FRANÇA (1954)
Décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990	Levantamento histórico, figuras e imagens obtidas em textos antigos	Bases Scielo, ATHENA (UNESP), SOPHIA (UNICAMP), DEDALUS (USP), Biblioteca Municipal de São Sebastião, Biblioteca Pública “ <i>Prefeita Nilce Signorini</i> ” (Ilhabela), e em órgãos públicos do Estado de São Paulo (CETESB, DERSA, Instituto Agrônomo de Campinas) e em <i>sites da internet</i>
2001	Landsat 7 ETM ⁺ 2, resolução 30m. Escala 1:50.000 Bandas 3, 4 e 5. Órbita/ponto 218/077	Laboratório de planejamento ambiental da Universidade Estadual de Campinas (LAPLA/UNICAMP)
Década de 2010	Matérias de jornal e trabalhos acadêmicos	Bases Scielo, ATHENA (UNESP), SOPHIA (UNICAMP), DEDALUS (USP) e em <i>sites da internet</i>

Os mapeamentos objetivaram comparar, analisar e quantificar as mudanças globais no uso da terra que foram produtos, principalmente, da atuação das forças

motoras. O mapeamento foi realizado por meio da técnica de interpretação visual e digitalização de imagens no ArcGis 9.2. As imagens tiveram suas coordenadas corrigidas, utilizando o sistema UTM – zona 23S e Datum SAD-69 e georreferenciadas em SIG ArcGis 9.2, com pelo menos 10 pontos de controle (cruzamento e curvas de estradas, entroncamento de rios e casas, entre outros), distribuídos em toda a superfície mapeada. Com base nos mapas e croquis datados foram gerados novos croquis e gráficos, espacializando e ilustrando a atuação das forças motoras e a utilização dos serviços ecossistêmicos nos últimos cinco séculos de ocupação da Ilha de São Sebastião.

1.3. Resultados e Discussão

O uso e a ocupação da Ilha de São Sebastião ao longo de cinco séculos de história foram determinados por ciclos de desenvolvimento e declínio econômico que registraram na paisagem diferentes estágios de conservação e degradação do ecótono costeiro, deixando sinais de perda de serviços ecossistêmicos. Estes ciclos e suas consequências para o meio natural estão sempre relacionados a eventos históricos de ocupação do litoral brasileiro e paulista (VIERA e SANDEVILLE JR, 2007; GIANESELLA, 2008), mas podem ser interpretados de diferentes formas, dependendo da escala espacial e temporal de análise da paisagem.

Em escala nacional, os principais eventos responsáveis por grandes alterações da paisagem e que influenciaram a ocupação da Ilha referem-se aos ciclos de apogeu e declínio das culturas de cana-de-açúcar e café e de desenvolvimento de portos e estradas ao longo de toda costa brasileira (FRANÇA, 1954; DIEGUES, 1997). Além dos ciclos nacionais, existe também uma vinculação da Ilha com ciclos de apogeu e declínio relacionados ao Litoral Norte do Estado de São Paulo. Estes ciclos regionais resultaram de opções políticas feitas em esfera nacional ou estadual tais como:

incentivo à formação de grupos para desbravar o interior do país em busca de escravos e metais preciosos (entradas e bandeiras), escoamento de ouro pelo porto de Paraty (TOLEDO, 2000), desenvolvimento do porto de Santos pela construção da estrada de ferro ligando o interior e a capital ao mar (TORRES, 2008), entre outros.

Para entender como os ciclos econômicos em escalas nacional e regional atuaram no uso e ocupação da terra do litoral paulista, SILVA (1975) definiu três elementos responsáveis pela dinâmica econômica da região: atividades costeiras, ruralização e urbanização somada ao turismo. Foi a partir da ação destes três elementos sobre o gradiente de fisionomias da Ilha, ao longo da história, que a trajetória evolutiva da paisagem, os impactos sofridos e a variação na oferta de serviços ecossistêmicos foram definidos. Esses elementos desencadearam as principais causas que moveram ou ofereceram resistência às mudanças, respondendo pelos cenários que paulatinamente foram se estabelecendo nesse território. Dessa forma, estes elementos podem ser definidos como *forças motoras de mudança*.

As três forças motoras se alternaram em termos de importância e magnitude ao longo do ecótono costeiro e da história, e podem ser descritas como:

- i) Atividades costeiras: relacionadas com as atividades de movimentação portuária como comércio e trânsito de pessoas, além da pesca. A ação dessa força modificou a paisagem da orla da Ilha, produzindo núcleos que se desenvolveram como centros urbanos e pequenas vilas caiçaras, com construção de *piers* e marinas, e promovendo o relacionamento da população da Ilha com as regiões próximas.
- ii) Ruralização: o primeiro impacto dessa força motora foi na fixação de pessoas na Ilha. Esta força motora levou ao desenvolvimento de uma economia de mercado relacionada aos ciclos econômicos que organizou os espaços mais interiores da Ilha, promovendo a retirada da mata nativa para o cultivo de monoculturas de cana-de-açúcar e, posteriormente, de café.

- iii) Urbanização e turismo: foi a última força motora a se manifestar na Ilha. Atuante nos dias atuais, esta força motora está promovendo a reorganização dos espaços costeiros da Ilha por meio da consolidação da urbanização e abertura de novas frentes de desenvolvimento caracterizada pela especulação imobiliária, construção de segundas residências, infraestrutura hoteleira e trânsito sazonal de pessoas.

As mudanças na paisagem em virtude dessas três forças produziram territórios especializados, que segregaram as ações humanas, criaram mosaicos na paisagem e interferiram no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Desta forma, os sinais da organização e reorganização do espaço terrestre e marinho da Ilha ocorridas no passado ainda estão presentes na atual estrutura da paisagem (Figura 1.2).

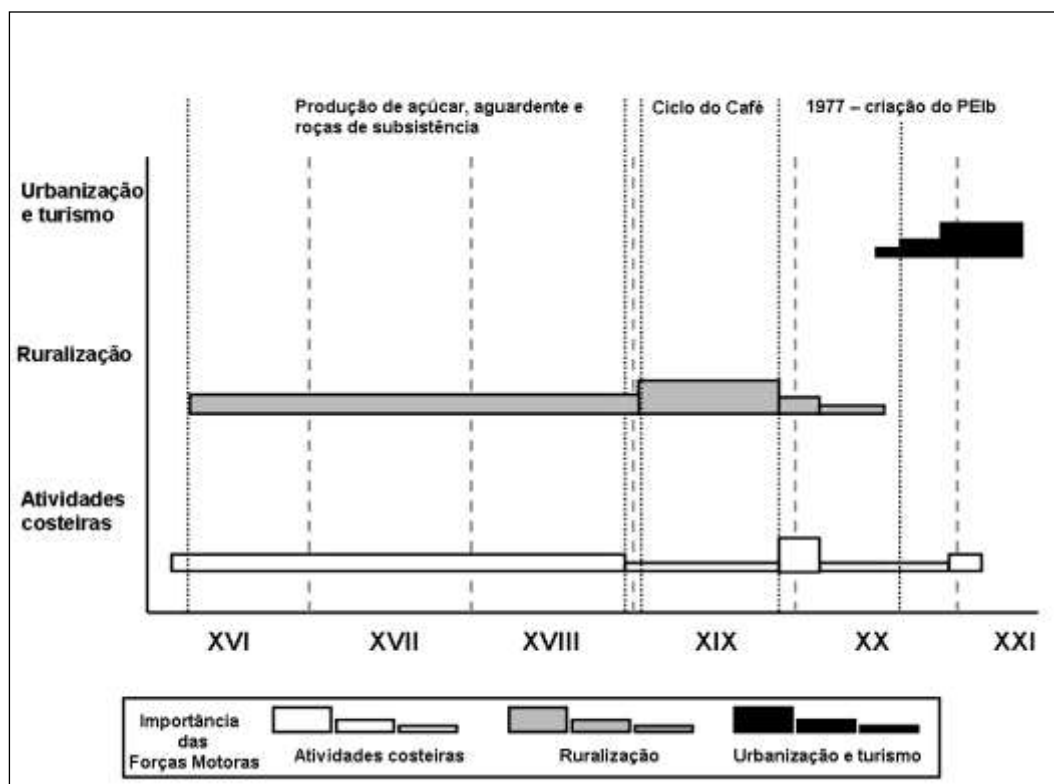


Figura 1.1. Alternância de importância de atuação das forças motoras na Ilha de São Sebastião ao longo dos séculos.

Afora os ciclos nacionais e regionais, existiram ao longo da história da Ilha os ciclos locais de desenvolvimento e estagnação (SILVA, 1975; GIANESELLA, 2008). Nestes, a presença marcante e indissolúvel do vínculo com a cidade de São Sebastião (outroza Villa e depois Distrito), em especial com o porto, se faz sentir na Ilha. A história desse conjunto de forças que definiu o desenho de uso e ocupação desse lugar pode ser resumida em quatro períodos: pré-colonial, entre os séculos XVI ao XVIII, o XIX e XX.

1.3.1 A história da Ilha – ciclos, forças motoras e organização do espaço

1.3.1.1 Período pré-colonial

Antes da chegada dos portugueses no século XVI, o arquipélago de Ilhabela já tinha sido habitado por grupos pescadores e coletores e, depois, por indígenas em aldeias na Ilha de São Sebastião e em acampamentos nas demais ilhas (CALI, 2006). As evidências dessas ocupações podem ser comprovadas pela existência de sítios arqueológicos dos tipos concheiros com cerca de 2.500 anos (oito espalhados pelo arquipélago), abrigos sob rocha (cinco abrigos utilizados como acampamentos ou para fins funerários) e ocorrências de cerâmica (três vestígios de grupos ceramistas que viveram nas ilhas por volta de 600 anos atrás), conforme ilustra a Figura 1.3.

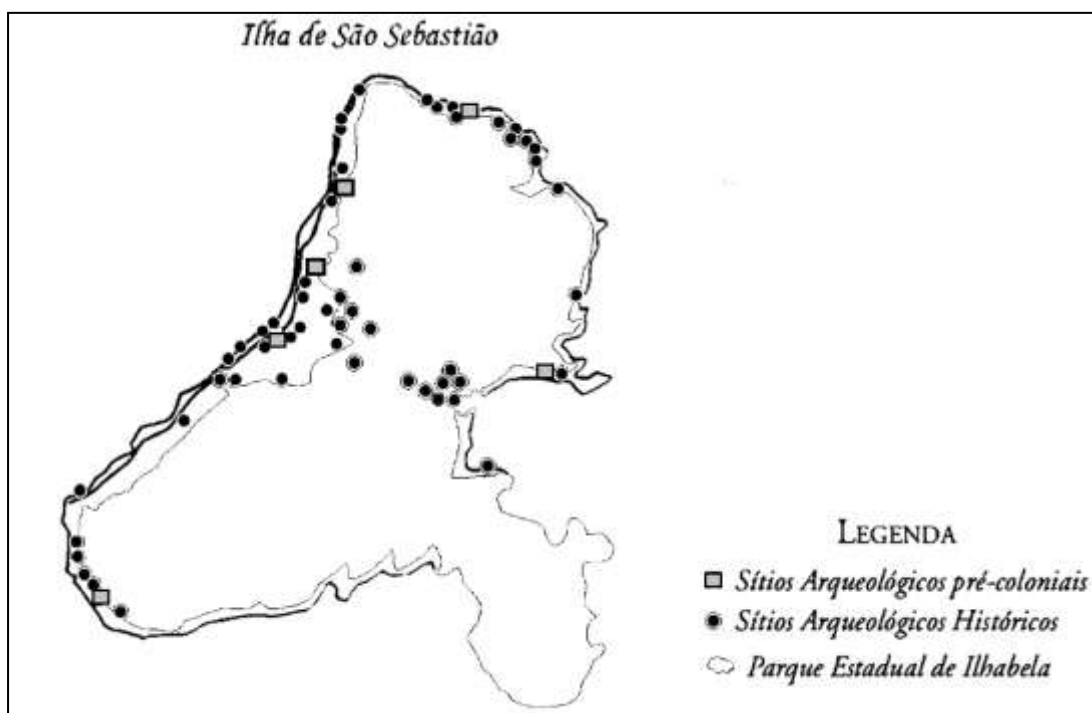


Figura 1. 2. Sítios arqueológicos no município de Ilhabela (Fonte: CALI, 2006).

Os locais onde foram encontradas estas ocorrências são, em sua maioria, próximos às praias e costões indicando que as ilhas e seus habitantes não estavam isolados do continente, ou seja, o mar não era uma barreira intransponível para os habitantes litorâneos do período pré-colonial. No entanto, não é possível afirmar quantas pessoas ocuparam as ilhas, tão pouco se as atividades de coleta, caça e cultivo transformaram significativamente a paisagem. Somente a partir de sítios históricos, testemunhos da presença europeia desde a colonização, pode-se afirmar que houve alguma mudança expressiva da paisagem, simultaneamente com a transformação de produtos naturais em bens de consumo e serviços ecossistêmicos.

1.3.1.2 Do século XVI ao XVIII, o início da ocupação do espaço

Informações mais efetivas sobre a ocupação da Ilha remontam a época da chegada dos portugueses ao Brasil, pois já no dia 20 de janeiro de 1532 a expedição de

Martim Afonso de Sousa, que trouxe os primeiros moradores para Ilha, confirmou o nome dado por Américo Vespúcio trinta anos antes como Ilha de São Sebastião⁶.

Com medo dos ataques dos índios Tupinambás que habitavam quase todo o litoral paulista e de seus aliados franceses, os colonizadores portugueses primeiro ocuparam a Ilha para, somente no final do século XVI, se fixar no continente (SILVA, 1975; CALVENTE, 1993; GIANESELLA, 2008).

Entre o final do século XVI e ao longo do século XVII a região que hoje compreende o Estado de São Paulo se dividiu em várias sesmarias. Com esse modelo colonial administrativo, Portugal promoveu o estabelecimento de engenhos de açúcar e aguardente, culturas de fumo e anil, como forma de fixar pessoas à terra e extrair os seus recursos. O responsável pela tarefa de povoar a Ilha e construir o primeiro engenho de açúcar foi o português Francisco Escobar Ortiz, vindo de Espírito Santo entre os anos de 1608-9 (FRANÇA, 1954; SILVA, 1975; CALVENTE, 1993).

Dessa forma, a orientação da política (inter)nacional colonialista de ocupação da costa brasileira, retirada de produtos naturais (em especial de pau-brasil), expulsão de estrangeiros, assimilação cultural dos índios, criação de sesmarias e construção de engenhos com a finalidade de geração de divisas, modificou a paisagem da região litorânea brasileira, consolidando os domínios portugueses. Assim, para esse período já é possível apontar alterações marcantes na paisagem e na utilização dos serviços ecossistêmicos, que podem ser traduzidas pelas ações alternadas entre duas forças motoras: *atividades costeiras* e *ruralização* (Figura 1.2).

A desbravação das regiões costeiras e a preparação do terreno para o cultivo e habitação foram as primeiras formas de conformação da paisagem costeira e de pressão sobre os recursos naturais. A seleção de áreas de maior produtividade ou mais próximas a recursos naturais (como água, por exemplo) tinham como forçantes as restrições ambientais impostas pela topografia, geologia e clima (HUSTON, 2005). Nesse sentido, os primeiros ambientes na Ilha ocupados e modificados foram as Baixadas Litorâneas do lado voltado para o Canal compostas de praias arenosas e planícies flúvio-marinhas (Figura 1.4) que, apesar de apresentarem baixa capacidade

⁶ Prefeitura Municipal de Ilhabela, Histórias e Lendas. Disponível em: <<http://www.ilhabela.sp.gov.br>>. Acesso em: 06 de jul. 2010

de produção agrícola apresentavam as melhores condições para o desenvolvimento de atividades agropastoris, de defesa, de habitação e de comunicação com o continente (SILVA, 1975; BERTOLO *et al.*, no prelo). Dessa forma, os primeiros usos de serviços ecossistêmicos deveriam estar relacionados às necessidades mais urgentes para instalação das pessoas, como os serviços relacionados à provisão (matérias-primas como madeira, fibras, frutos, biomassa para combustível, etc.) e a regulação (principalmente os relacionados aos recursos hídricos como regulação do fluxo hidrológico e autodepuração dos rios).

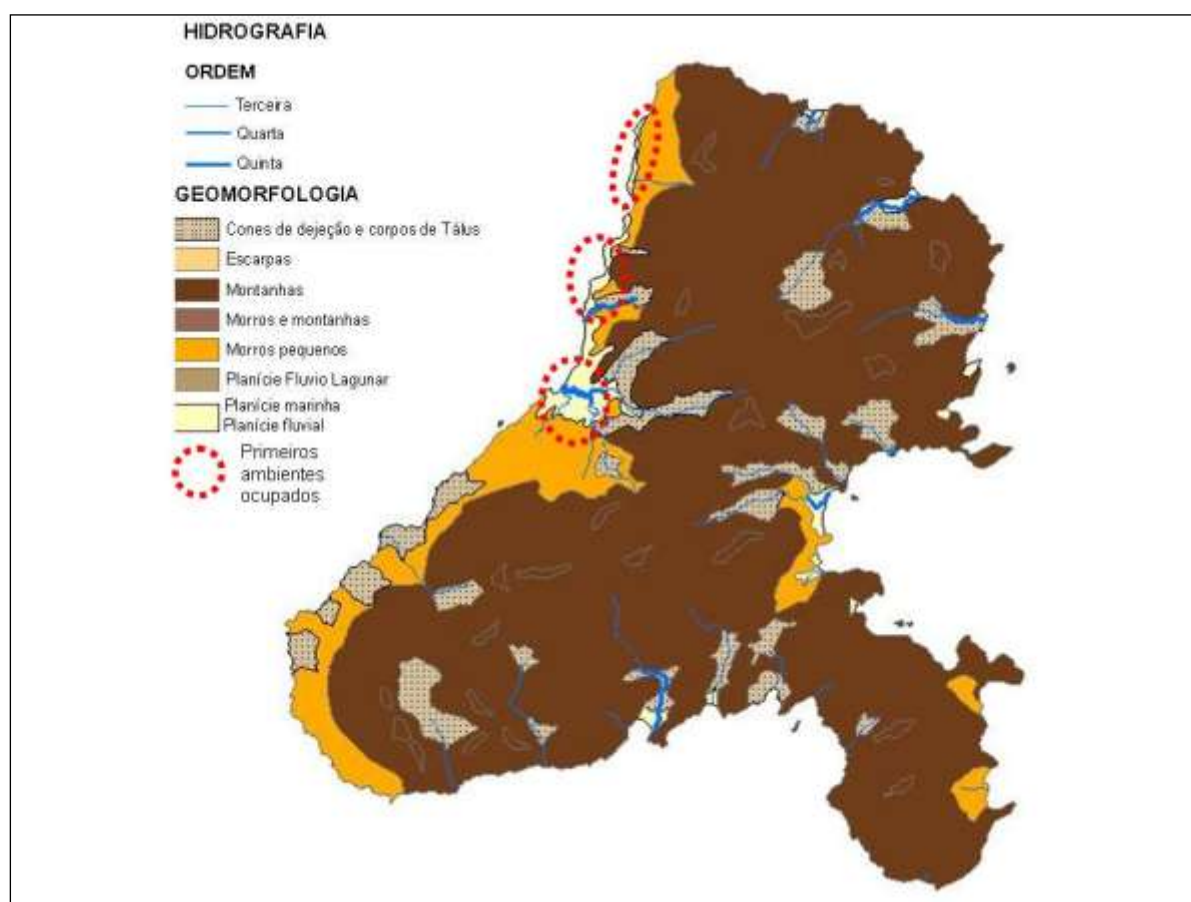


Figura 1. 3. Provável localização das primeiras ocupações do período colonial na Ilha (Adaptado de FBDS, 2004).

A comunicação com o continente se dava principalmente por meio do atracadouro de São Sebastião (Figura 1.1) que, desde o início da colonização, já se apresentava como um local de referência para a região, principalmente devido às suas boas condições de navegação e abrigo para embarcações.

O Brasil e a Ilha de São Sebastião conheceram o primeiro impulso de crescimento econômico entre os séculos XVI e XVIII: o ciclo do açúcar. Por meio da formação de latifúndios e de engenhos para a produção de açúcar e aguardente o Brasil junto com as Antilhas assumiram o papel de fornecedores de açúcar para a Europa, principalmente após a libertação de Portugal do domínio espanhol, entre 1580 a 1640 (SCHWARTZ, 2007). Assim, no final do século XVIII, com o desenvolvimento econômico e demográfico, a Ilha apresentava uma população de cerca de 3000 habitantes e se destacava pelas vantagens comerciais que possuía em relação ao resto do litoral. Devido a esse destaque regional alcançado pela Ilha, em 3 de setembro de 1805, um movimento liderado pelo Capitão Julião de Moura Negrão conseguiu emancipar o povoado da Capela de Nossa Senhora D'Ajuda e Bom Sucesso da Villa de São Sebastião (Figura 1.5). Em homenagem à filha mais velha de D. João VI e D. Carlota Joaquina, em 23 de janeiro de 1806 o povoado passou a se chamar Villa Bela da Princesa (SILVA, 1975; FRANÇA, 1954).



Figura 1. 4. Ilhabela pintada por Debret, em 1827. Fotografia da Vila no início do século XX (fonte: ilhabela.blogspot.com/2009/12/ilhabela, acessado em 15/12/2009; acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela)

Até o final do século XVIII, a principal atividade econômica da Ilha era baseada em uma exploração de latifúndios, constituída por engenhos (5 de açúcar e 17 de aguardente) e algumas culturas de fumo e de anil (FRANÇA, 1954; CALVENTE, 1993). Algumas das principais construções históricas da Ilha datam deste século como

o Engenho da Siriúba, o da Ponta das Canas e do Ribeirão, bem como os fortes de Ilhabela, da Ponta da Sela, e da Ponta das Canas. O Engenho D'Água é uma das construções típicas desse período, sendo apontado como um dos primeiros engenhos construídos na Ilha (Figura 1.6) (CALI, 2006).

A consolidação das atividades agrícolas, representada por essas construções, demonstra a intensificação das pressões sobre o ambiente natural e uma ampliação na gama de serviços ecossistêmicos utilizados, iniciando uma seqüência de impactos que se tornariam acumulativos a partir desse século.



Figura 1. 5. Engenho D'Água na primeira metade do século XX (fonte: acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela), evidenciando o desmatamento encosta acima.

A ampliação da utilização dos serviços ecossistêmicos em terra se estendeu em direção ao mar, pois outra atividade econômica que chegou a ter importância para a Ilha, na segunda metade do século XVIII, foi a caça de baleias e o seu processamento em armações para o aproveitamento das barbatanas e do óleo, sendo este utilizado para iluminação e na construção civil (KOESTER-GOBBO, 2007). Essa atividade demonstra a possibilidade de sobreposição de atuação entre as forças motoras, neste caso a de *ruralização* (dominante nesse período) e a de *atividades costeiras*.

Do século XVI ao início do XIX o Litoral Norte passou pelo apogeu e declínio dos ciclos nacionais do açúcar e do ouro, sendo que em relação ao ouro toda a região ficou à margem. Durante esses ciclos, a atuação ora alternada, ora sobreposta das forças motoras de *ruralização* e *atividades costeiras* produziram na Ilha uma paisagem formada por um mosaico de áreas ainda cultivadas, áreas abandonadas, vegetação nativa, vegetação degradada, moradias simples, engenhos, uma pequena urbanização concentrada na região da Villa (Figura 1.7) e o desenvolvimento de atividades portuárias (CALVENTE, 1993). Outra característica importante desta fase é o surgimento e consolidação de um eixo principal de desenvolvimento na Ilha. Esse eixo que vai da Barra Velha até a Vila – e que nos dias de hoje pode ser percorrido pela SP-131 - se desenvolveu devido à proximidade com o continente, a possibilidade de comunicação terrestre entre as habitações e engenhos que já existiam nessa região e pela proteção pessoal, uma vez que o canal era guardado por fortes e canhões (Figura 1.7). Esse eixo, apesar de principal, não foi um exclusivo vetor de desenvolvimento uma vez que foram utilizadas outras áreas da Ilha (voltadas para o oceano) para o desenvolvimento de pequenos povoados e engenhos. No entanto, estes povoados continuavam restritos às Baixadas Litorâneas onde a oferta de serviços ecossistêmicos, como os hídricos e fornecimento de matéria-prima, possibilitava o cultivo, enquanto que as praias permitiam o acesso ao mar.



Figura 1. 6. Croqui de 1897 da Ilha e foto-montagem, indicando os locais onde havia presença de canhões. (imagem adaptada da revista do instituto de Botânica; créditos das fotos: Adriana S. Nakamura – fev/2004).

1.3.1.3 Século XIX – a devastação pelo café

Assim como aconteceu nos dois séculos anteriores, no século XIX as forças motoras de *ruralização* e *atividades costeiras* atuaram em conjunto transformando a paisagem da Ilha. Porém, foi neste século que a Ilha encontrou o seu período de maior transformação desde o início da colonização. Durante o século XIX, a força motora dominante foi a *ruralização*, com uma economia essencialmente agrária, sendo a pesca e as atividades portuárias atuações secundárias.

Entre as atividades portuárias, merece destaque o tráfico de escravos, amplamente realizado na região da baía de Castelhanos (Figura 1) e que foi

responsável pela grande oferta de mão de obra para as lavouras da Ilha durante todo o século XIX (FRANÇA, 1954; CALVENTE, 1993; NOFFS, 2007).

Além da facilidade de compra de mão-de-obra barata, a proximidade com os portos de Ubatuba e São Sebastião permitiu que a cultura do café – introduzida no Litoral Norte por volta de 1770 – encontrasse na Ilha espaço para seu rápido e intenso desenvolvimento (CALVENTE, 1993; NOFFS, 2007). Com isso, em 1819 a Ilha passou de 22 engenhos no final do século XVIII a 198 propriedades, todas espremidas entre as montanhas e o mar (FRANÇA, 1954). As maiores propriedades chegavam a ter mais de 8 km de comprimento por 3 a 5 km de largura (9 propriedades), enquanto que as pequenas propriedades apresentavam de 50 a 110 m de comprimento (189 propriedades).

A febre do café fez com que os produtores abandonassem a cana substituindo-a pela nova cultura. Em 1836 a Ilha apresentava uma produção de 10.289 arrobas⁷ de café, tornando este cultivo a principal atividade econômica, e responsável pelo período de maior importância econômica, social e demográfica da Ilha até o momento (FRANÇA, 1954; GONÇALVEZ, 2009).

Os cafezais foram os responsáveis por grande parte do desmatamento da Ilha. Enquanto os canaviais não ultrapassaram a cota dos 200 metros, os cafezais chegaram até 500 metros de altura. Eles se estenderam entre os maciços São Sebastião e Serranias, nas encostas vizinhas às praias da Siriúba, do Viana, da Armação (praias do norte) e Praia Grande, Ribeirão e Veloso (praias do sul), conforme ilustra a Figura 1.8 (FRANÇA, 1954; SILVA, 1975; NOFFS, 2007).

⁷ cerca de 154 toneladas

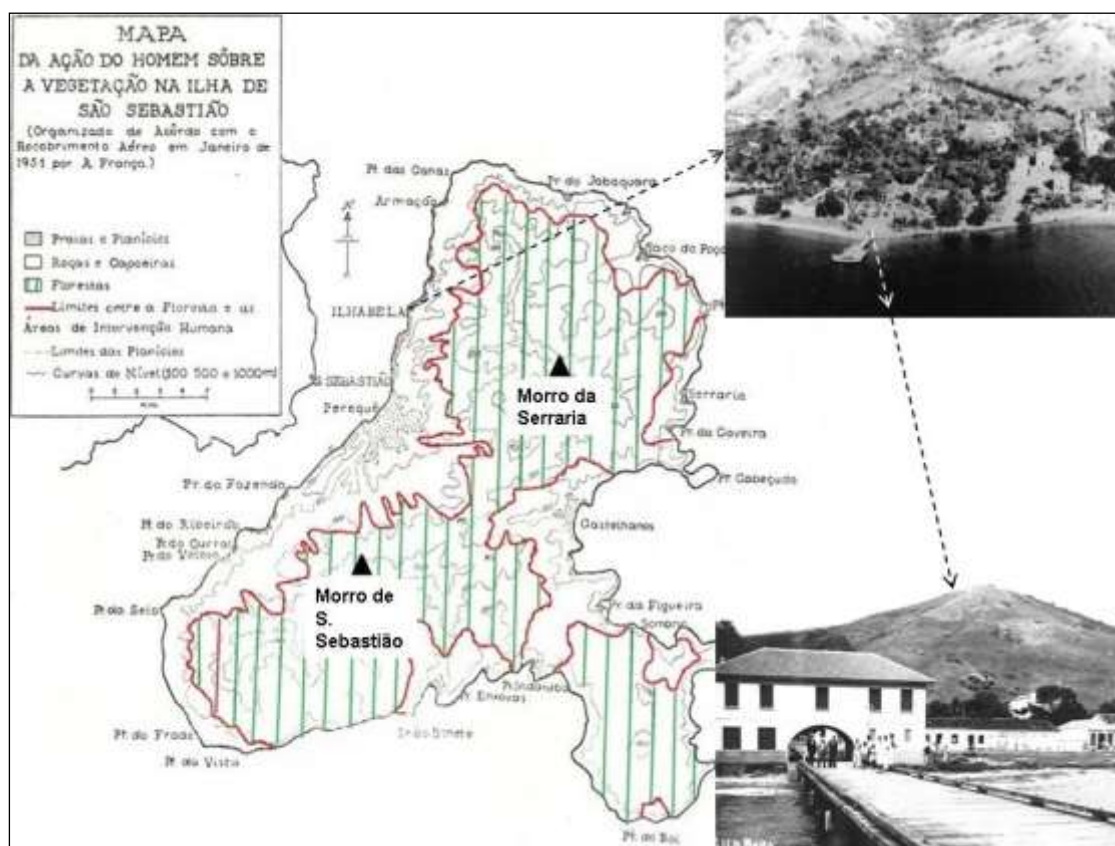


Figura 1. 7. Croqui e foto-montagem evidenciando a redução da área de floresta pelo café em meados do século XIX e fotos das áreas ainda desmatadas no início do século XX (adaptado de FRANÇA, 1954; acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela).

Em 1854, estima-se que existiam na Ilha cerca de 225 fazendas de café, com uma colheita de 112.500 arrobas⁸ e uma população de 10.769 habitantes. No seu apogeu, a Ilha junto com o Litoral Norte respondiam por 14,2% de toda a produção de café do Estado (NOFFS, 2007). Porém, como nas demais regiões produtoras da cultura no Litoral Norte paulista, o seu declínio foi tão rápido quanto seu apogeu, acontecendo ainda antes na Ilha (entre 1870 e 1880) do que nas lavouras do médio Paraíba e interior paulista.

Além de restrições ambientais características da topografia da Ilha, como reduzido espaço para desenvolvimento, solos pobres e de baixa fertilidade, a prosperidade encontrou o seu fim quando foi construída a estrada de ferro ligando São Paulo a Santos (1867) e São Paulo ao Rio de Janeiro, e a abolição da escravidão

⁸ cerca de 1687 toneladas

(1888) (CALVENTE, 1993; RESSURREIÇÃO, 2002). A abolição favoreceu o êxodo dos escravos para o continente, o que pode ser evidenciado pelos dados censitários uma vez que somente em 1890 a população da Ilha caiu de 10.769 habitantes para 7.361 (SILVA, 1975).

Em síntese, o século XIX foi determinante na criação e consolidação da fragmentação das paisagens na Ilha, sendo marcante a devastação causada pelo ciclo cafeeiro, que promoveu o confinamento da mata nativa da Ilha para as cotas mais altas e acrescentou impactos marcantes na degradação da oferta dos serviços ecossistêmicos. Provavelmente, entre os serviços mais afetados pela grande retirada de vegetação estão relacionados aos serviços de suporte (como ciclagem de nutrientes e formação do solo, por exemplo) e de regulação (como regulação climática, da água e decomposição, por exemplo) responsáveis pelo oferecimento de vários outros serviços.

Além disso, o eixo de desenvolvimento originado no final do século XVIII se estabeleceu e consolidou na face voltada para o canal como o centro urbano, administrativo e de comércio. O resultado da alternância de forças motoras impulsionadas pelos ciclos econômicos regionais e nacionais promoveu o êxodo da população e impediu a fixação de uma atividade econômica forte na Ilha, deixando-a vulnerável sócio-ambientalmente e fortemente sujeitas às mudanças econômicas e sociais que estariam por vir no próximo século.

1.3.1.4 Século XX

Durante as duas últimas décadas do século XIX e os primeiros anos do século XX a Ilha desenvolveu uma economia onde a circulação de dinheiro e mercadorias era muito pequena, podendo ser considerada como uma “economia fechada” (FRANÇA, 1954) (Figura 1.9).



Figura 1. 8. Foto da Ilha no início do século XX (acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela).

Neste momento, a Ilha possuía muitas “pequenas” propriedades que faziam seu próprio transporte para os centros de consumo utilizando canoas de voga e não mais escoando toda a produção pelo porto de São Sebastião, como acontecia na época do café. Estas propriedades, após o declínio da produção cafeeira, fizeram com que a Ilha voltasse à sua atividade tradicional de cultivo de cana-de-açúcar e de subsistência, chegando a possuir 36 engenhos para a produção de aguardente na segunda década do século XX (Figura 1.10).



Figura 1. 9. Equipamento para moagem de cana e colheita na Ilha no início do século XX (acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela).

Estas propriedades ocupavam áreas de difícil acesso do lado leste da Ilha (praia de Castelhanos) e no costão sul, na praia do Bonete (Figura 1.8). Além do cultivo de cana-de-açúcar, a farinha de mandioca, o feijão, o milho, o café, frutas e peixe seco, passaram a fazer parte dos produtos de exportação da Ilha. Durante algumas décadas a banana também passou a ter importância no comércio da Ilha com Santos. A produção de banana era feita em condições rudimentares, sem nenhuma técnica de conservação, correção ou melhoramento dos solos, em pequenas glebas no meio da mata, quase sempre em morros, em terrenos acidentados e úmidos (NOFFS, 2007). Em outras palavras, a substituição do café por outras atividades não melhorou substancialmente as condições ambientais do lugar, mantendo ainda o caminho da depauperação dos recursos naturais.

Nesse momento de procura pela melhor direção para a economia local, a força motora *atividades costeiras* volta a ter importância na economia da Ilha de São Sebastião, deixando em segundo plano a força motora que a regeu durante quase três séculos e meio, a *ruralização*. Ilhabela se transforma no principal centro de construção das canoas de voga do Litoral Norte, chegando a possuir 38 canoas que faziam percursos de Paraty a Santos e podiam transportar juntas até 5 toneladas entre

pessoas e mercadorias. Estima-se que a frota transportava anualmente – de Ilhabela a Santos – de 500 a 800 toneladas de mercadorias (NOFFS, 2007).

Durante esse período, novas derrubadas na mata eram muito raras, sendo que os engenhos passaram a ocupar parcialmente os locais já desmatados até as cotas mais elevadas, outrora ocupadas por cultivo de café. A área ao redor dos engenhos possuía um solo muito degradado pela constante ocupação agrícola, manejos inadequados (FRANÇA, 1954) e, apenas nas cotas mais altas, se encontravam matas secundárias em processos iniciais de regeneração, evidenciando a sobre-utilização dos serviços de suporte e regulação. Essa economia de subsistência, produção de aguardente e transporte de mercadorias e pessoas não tardou ao declínio. Já no final da década de 1920 as canoas de voga deixaram de ser utilizadas, quando embarcações a motor passaram a ser freqüentes no Litoral Norte (NOFFS, 2007). Como consequência, muitos engenhos foram abandonados, o que refletiu na quase total estagnação da população, aumentando apenas 691 habitantes em 30 anos.

Entre 1925 e 1932 o sucesso da pesca (estimulada pela força motora de *atividades costeiras*) favoreceu a recuperação de áreas degradadas pela agricultura, mas criou e desenvolveu outros espaços costeiros como suporte a essa atividade comercial. Como exemplo disso, houve a formação de vários povoados de pescadores, proliferação dos cercos flutuantes e barcos a motor. Cerca de 50 barcos de pesca freqüentavam a costa da Ilha. Neste período, Ilhabela tornou-se uma das principais áreas de pesca do Brasil meridional e o Saco do Sombrio (Figura 1.11), principal porto da Ilha nessa época, chegou a reunir de 450 a 500 habitantes, sendo freqüentado por barcos de pesca de Santos e Rio de Janeiro (NOFFS, 2007). Porém, não tardou para que essa atividade também sofresse sua primeira crise, que resultou de um acúmulo de fatores: o abandono de culturas de subsistência em prol da pesca, tornando a população da Ilha dependente de produtos vindos do continente; êxodo de pescadores, principalmente os mais jovens, para outras regiões do litoral, como Santos e Itajaí, em busca de melhores remunerações; a diminuição dos estoques pesqueiros próximos à Ilha devido a sobrepesca causada pelo grande número de pescadores e equipamentos aglutinados em poucas áreas, evidenciando a sobre-utilização dos serviços ecossistêmicos de abastecimento no mar ao redor de toda a Ilha; o desenvolvimento de

outros métodos de pesca mais modernos e eficientes que possibilitavam a pesca em alto mar, mas de alto custo para os pescadores artesanais da Ilha; e crises nacionais como Revolução Constitucionalista de São Paulo e o bloqueio marítimo (FRANÇA, 1954; NOFFS, 2007).

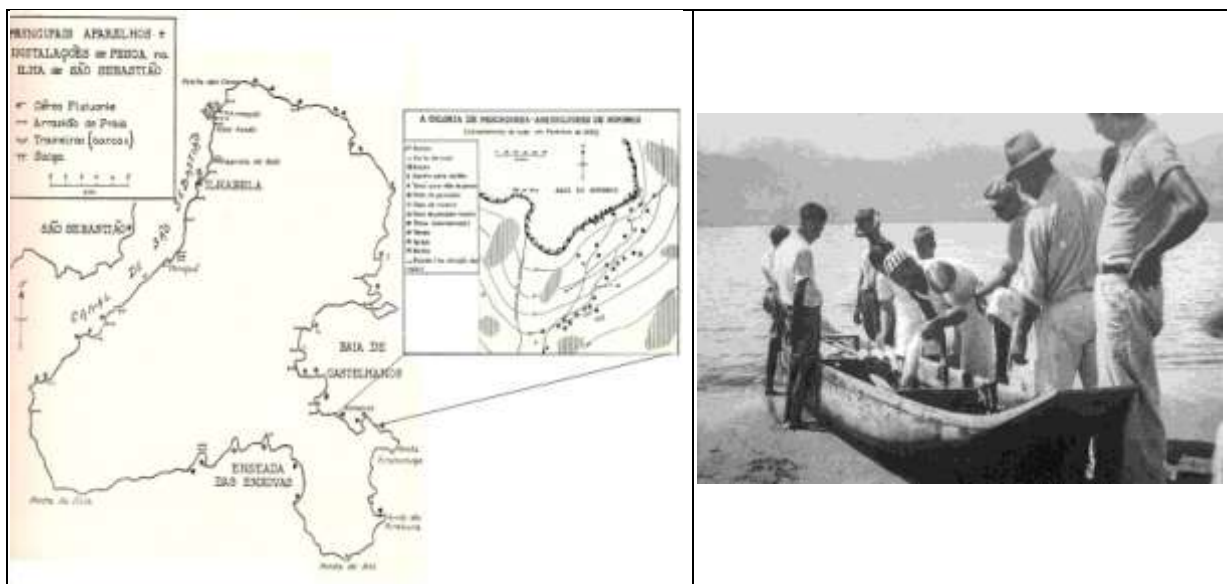


Figura 1. 10. Croqui mostrando a localização das principais áreas de pesca da Ilha e uma foto mostrando o comércio de peixes (fonte: adaptado de FRANÇA, 1954; acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela).

O resultado dessa história foi que as modificações no uso e ocupação da orla da Ilha, no início do século XX, promovidas pela força motora de *atividades costeiras*, foram determinantes na ampliação da ocupação de espaços e na modificação da paisagem em áreas até então pouco influenciadas pela ação das forças motoras. Um exemplo bastante representativo disso foi o porto do Sombrio na Baía de Castelhanos (FRANÇA, 1954). Em apenas 14 anos (entre 1918 a 1932) a região do Saco do Sombrio passou de localidade despovoada a uma população de aproximadamente 500 habitantes, com 4 vendas e 113 habitações. Com o declínio da atividade, 20 anos após o seu apogeu (em 1952), a área do porto Saco do Sombrio não possuía mais que 32 habitações, sendo que 8 estavam abandonadas e apresentando uma população de 132 habitantes. Esse declínio populacional continuou nas décadas seguintes chegando a

primeira década do século XXI com apenas 14 moradores (MUSSOLINI, 1980; NOFFS, 2007).

O declínio demográfico e econômico causado pela sobrepesca transformou a região da baía de Castelhanos em uma das áreas mais decadentes da Ilha. A Figura 1.12 mostra o espaço que antes era ocupado e a área que ainda era cultivada na década de 1950, conforme descrito por FRANÇA (1954) e NOFFS (2007).

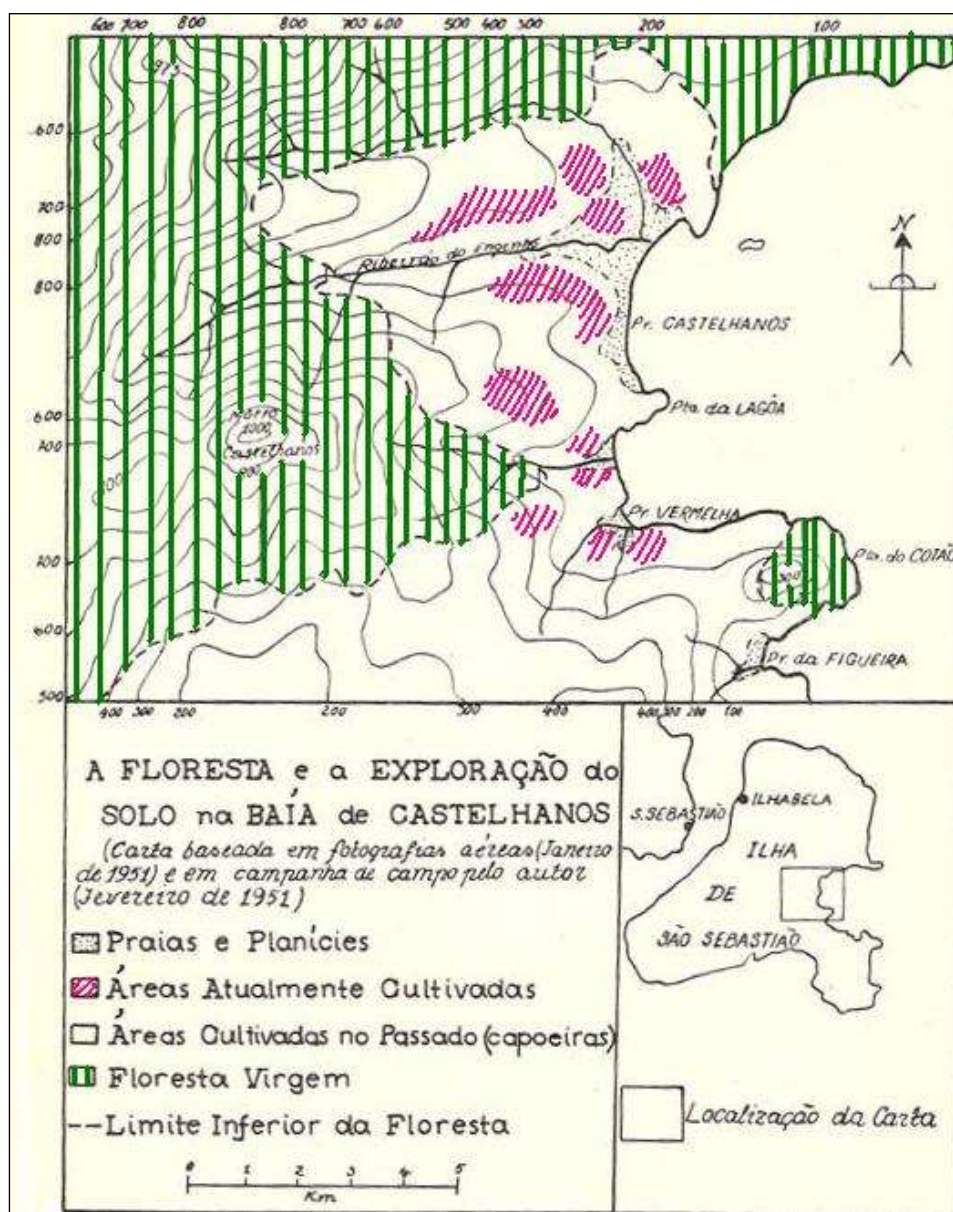


Figura 1. 11. Croqui mostrando as áreas de cultivo na praia de Castelhanos na década de 1950 (adaptado de FRANÇA, 1954).

Como produto das atividades realizadas sob as forças motoras vigentes até essa época, as grandes extensões de Mata Atlântica (em Ilhabela) que deram lugar aos cultivos de mandioca, cana, café e banana impossibilitaram a plena recuperação da vegetação e dos serviços ecossistêmicos degradados, pois deixaram “*morros pelados, cobertos apenas pelo capim sapé*” (NOFFS, 2007) como resultado de anos de práticas agrícolas típicas caiçaras baseadas nas roças itinerantes e na limpeza de terreno com fogo.

A crise da pesca somada a abertura da estrada que ligava a capital a São Sebastião em 1939 (rodovia dos Tamoios, SP-99), resultou – num primeiro momento – em um segundo êxodo da população da Ilha, diminuindo o número de habitantes de 8.052 em 1920 para 6.215 em 1934 (Figura 1.13). Com a economia novamente aberta e agora a facilidade de comunicação com o mundo exterior, a população da Ilha continuou a cair cada vez mais, passando a 5.568 em 1940 para 5.066 em 1950 (SEADE, 2010; NOFFS, 2007).

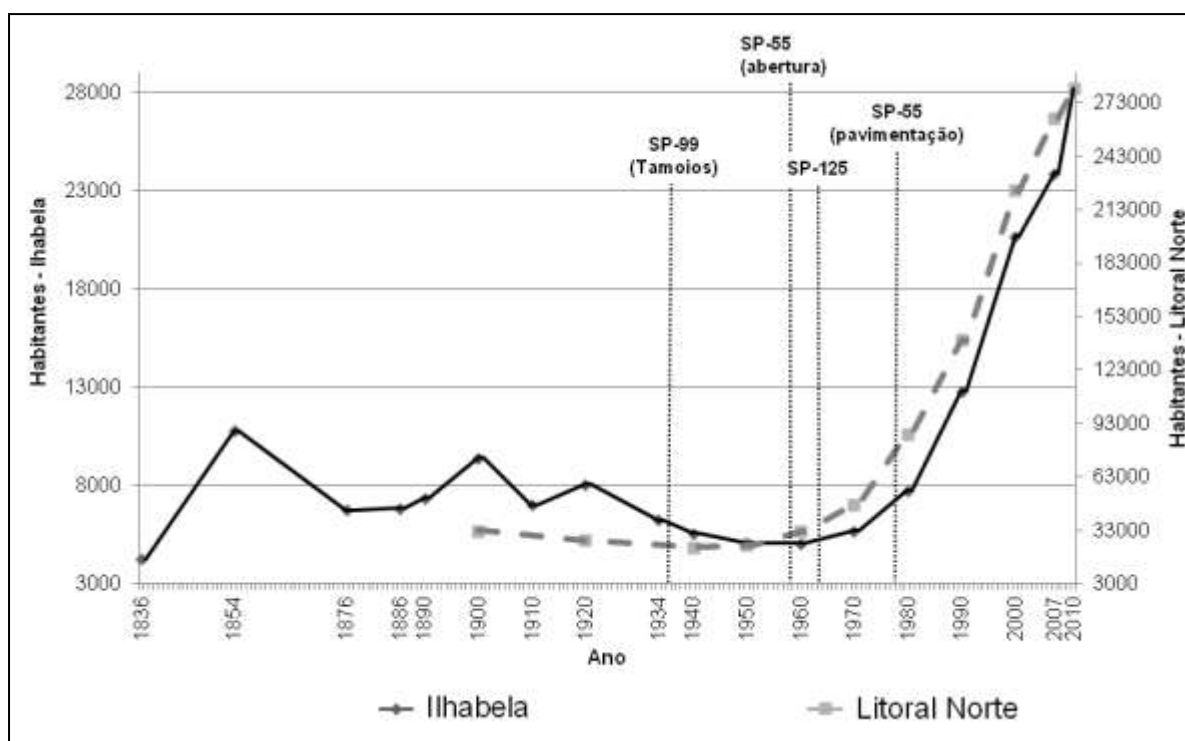


Figura 1. 12. Evolução da população da Ilha e a comparação com a Região do Litoral Norte paulista, destacando as datas de abertura das estradas na região (modificado de SEADE, 2010; NOFFS, 2007).

No contexto regional, a abertura das estradas a partir da década de 1940 promoveu a diminuição da estagnação econômica e do declínio demográfico do Litoral Norte. A facilidade de locomoção iniciada com a abertura das estradas interligando o alto da Serra do Mar ao litoral (SP99 - rodovia dos Tamoios e SP125 – rodovia Oswaldo Cruz) e as cidades do Litoral Norte (SP55 – rodovia Manoel Hipólito do Rego; Figura 1.14) produziu uma nova forma de degradação da paisagem por meio da especulação imobiliária causada pela venda de terras próximas à praia para veranistas e grilagem de terras (CALVENTE, 1993; GARROTE, 2004; GUIMARÃES, 2006; VIEIRA e SANDEVILLE JUNIOR, 2007; ROCHA e SILVA, 2009). Essa nova ocupação do espaço “empurrou” os moradores tradicionais morro acima, criando bairros localizados próximos às encostas ou próximos das áreas de preservação ambiental, diminuindo o tamanho das propriedades e impossibilitando as roças de subsistência (GARROTE, 2004; PIMENTA e FRUGOLI, 2005; GUIMARÃES, 2006). A mudança na forma de uso da paisagem representou o surgimento da terceira e última força motora a atuar na Ilha: *urbanização e turismo* (Figura 1.15).



Figura 1. 13. Localização das principais estradas no Litoral Norte.



Figura 1. 14. Atuação da força de urbanização e turismo promovendo o desenvolvimento de infraestruturas para atendimento ao turismo crescente na Ilha na década de 1940 (acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela).

Em 1950, já era possível observar o maior fluxo de turistas para a Ilha, especialmente nos períodos de férias quando a população da Ilha dobrava (FRANÇA, 1954). No entanto, 86% das atividades realizadas pela população residente na Ilha ainda eram relacionadas à agricultura e pesca (GONÇALVEZ, 2009).

Na década de 1960, duas atividades marcaram definitivamente a paisagem costeira da Ilha como resultado da ação dos primeiros sinais da força motora de *urbanização e turismo*: i) as praias de Ilhabela situadas ao longo do canal passaram a ser acessíveis aos automóveis com a inauguração do serviço de balsas que realiza a travessia da Barra Velha ao porto de São Sebastião, a partir de 1964 (NOFFS, 2007; Figura 1.16); e ii) o estabelecimento de uma linha aérea pela VASP ligando Ilhabela a São Paulo e Ubatuba (FRANÇA, 1954; Figura 1.16). Ainda nessa época apenas algumas áreas próximas à orla apresentavam edificações e a maior parte da população ainda estava concentrada na Vila, ou ao longo da rodovia SP-131 (GUIMARÃES, 2006).



Figura 1. 15. Travessia de carros pela balsa e detalhe da pista de pouso e estrada SP-131 na região da Ponta da Pequêá (acervo Secretaria de Cultura de Ilhabela).

Apenas na década de 1970, a construção de residências de veraneio, por moradores do interior paulista, começou a ganhar impulso, causando mudanças significativas na paisagem com arruamentos e o aumento de edificações na região da Barra Velha e Perequê (GUIMARÃES, 2006; Figura 1.17). O aumento da infraestrutura urbana e a possibilidade de trabalho nas atividades voltadas ao turismo (como a

hotelaria, por exemplo) levaram ao aumento da população a partir dessa década, como pode ser observado na Figura 1.13.

Em 1977, o governo local com o intuito de ligar as duas maiores planícies da Ilha e de possibilitar o desenvolvimento de loteamentos fora do eixo voltado para o canal abriu a Trilha conhecida por Estrada de Castelhanos (Figura 1.17). No mesmo ano, uma ação estadual agiu no sentido da conservação ambiental, criando o Parque Estadual de Ilhabela (Decreto nº. 9.414 de 20/01/77). A criação do Parque não somente inviabilizou o loteamento da praia de Castelhanos, como impediu a pavimentação da estrada que liga as duas planícies (NOFFS, 2007). Essa ação foi fundamental para a recuperação da vegetação dentro dos limites do Parque, promovendo, conseqüentemente, a recuperação dos serviços ecossistêmicos.

A abertura da estrada de Castelhanos foi apenas uma das tentativas de ligar regiões de grande beleza cênica por meio terrestre. Na década de 1960, a prefeitura de Ilhabela e o DER assinaram um convênio para a construção das estradas de Castelhanos e Perimetral – que contornaria toda a Ilha. Antes mesmo que as estradas saíssem do papel, foram lançados e vendidos vários loteamentos em toda face leste e sul da Ilha, quase todos em áreas costeiras. Portanto, a criação do Parque impediu não somente a degradação da região de Castelhanos, mas também o avanço da urbanização sobre outras regiões de toda a Ilha (NOFFS, 2007).

Dessa forma, a ação da força motora de *urbanização e turismo* não foi homogênea (espacial e temporalmente) em toda a Ilha, transformando mais intensamente as regiões com melhor acesso rodoviário e deixando resguardada da especulação imobiliária as localidades ao sul e a leste da Ilha (CALVENTE, 1993; GUIMARÃES, 2006; NOFFS, 2007).

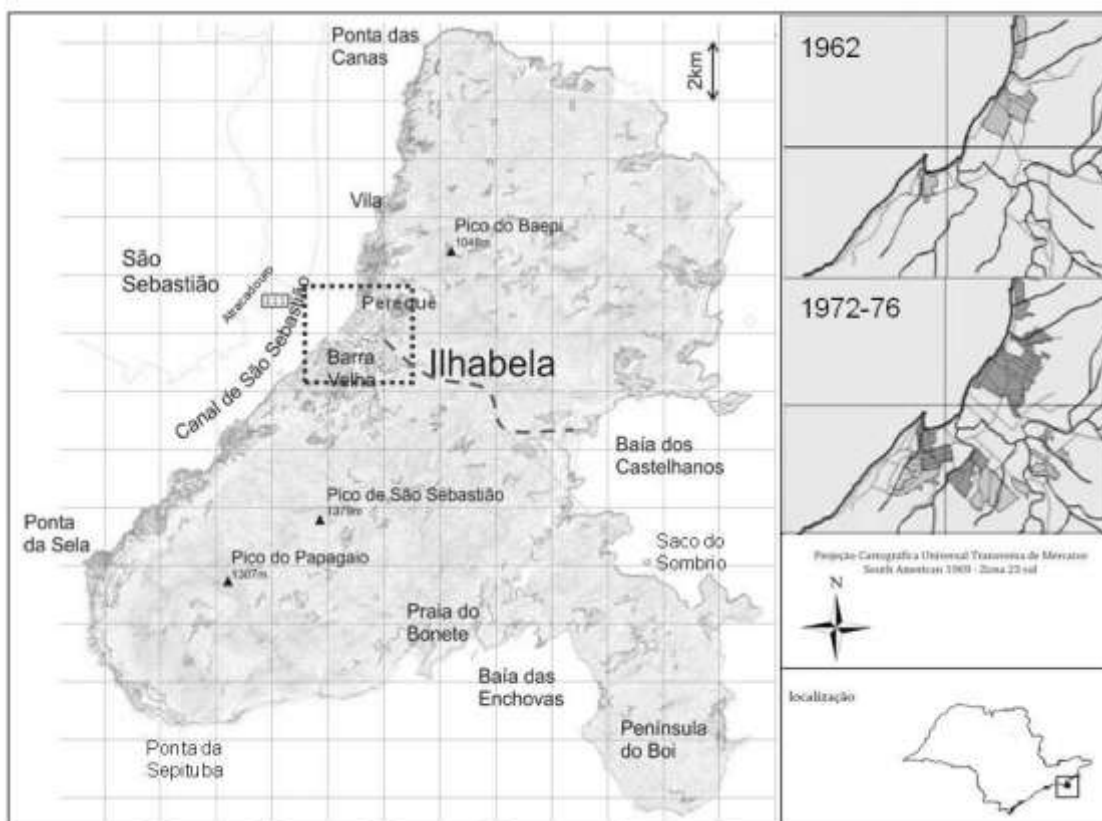


Figura 1. 16. Localização da estrada para Castelhanos e evolução da urbanização da região da Barra Velha e Perequê nas décadas de 1960 e 1970, e (modificado de GUIMARÃES, 2006).

No continente, a pavimentação da SP-55, na primeira metade da década de 1980, permitiu a interligação do Litoral Norte com a Baixada Santista e com o sistema viário Anchieta – Imigrantes. Isso possibilitou o aumento na atividade de construção civil voltada para a edificação de residências de veraneio e, em consequência, Ilhabela e as demais cidades do Litoral Norte paulista, começaram a receber um grande fluxo de migrantes oriundos de diversos estados brasileiros (PREFEITURA DE ILHABELA, 2007). Esse maior fluxo pode ser inferido na Figura 1.13, pelo aumento da inclinação na curva de crescimento populacional da Ilha.

Ainda na década de 1980, uma tentativa de ligação rodoviária entre a região localizada em frente ao canal de São Sebastião e a região sul da Ilha resultou na abertura da Avenida Perimetral Sul (atual Avenida Governador Mário Covas Jr; Lei nº 18 de 30/04/2001). Porém, a falta de manutenção e de conclusão de duas pontes

transformou a avenida numa trilha peatonal que hoje liga a Ponta da Sepituba à praia do Bonete.

O crescimento do número de turistas ao longo das décadas de 1980 e 1990 fez a demanda por serviços de atendimento ao turismo e infraestrutura aumentar consideravelmente em todo o Litoral Norte. Essa demanda e a falta de planejamento adequado do espaço costeiro fizeram que a paisagem natural, outrora tão almejada, fosse sendo descaracterizada. Desde então, como consequência, as cidades do Litoral Norte têm enfrentado o maior crescimento demográfico do Estado (MIRANDA, 2010), o que tem provocado o crescimento urbano desordenado⁹. Na Ilha, a falta de planejamento se refletiu no aumento no número de residências de veraneio e na criação de condomínios em áreas de acentuada declividade e de áreas costeiras (GUIMARÃES, 2006). A orla, novamente, sofre pressões de desmatamento, concentrando as obras civis em áreas de alta vulnerabilidade ambiental (MIRANDA, 2010; MELLO *et al.*, 2010).

Entre os anos de 1996 e 2000 a taxa de crescimento do município de Ilhabela (12%) foi três vezes superior a média do Estado (4%) e superior a dos municípios da região (6,35%) (GUIMARÃES, 2006). O grande aumento populacional da Ilha refletiu no grau de urbanização do município, que chegou a 99,16% no ano de 2009 (SEADE, 2010). Como consequência, houve o aumento das pressões humanas sobre o meio natural (GUIMARÃES, 2006) e ao oferecimento dos serviços ecossistêmicos (Tabela 1.2).

⁹ (fonte: Prefeitura Municipal de Ilhabela, 2007 http://www.ilhabela.sp.gov.br/portugues/ver_conteudo_foto3.php?cod_conteudo=0000117; acessado em julho de 2010)

Tabela 1.2. Degradação no oferecimento de serviços ecossistêmicos causadas pelo aumento das atividades relacionadas à força motora urbanização e turismo.

Ações	Impacto	Alguns exemplos de serviços ecossistêmicos potencialmente degradados pelas ações			
		Suporte	Abastecimento	Regulação	Culturais
Ocupações irregulares	Desmatamento em áreas de encosta e impermeabilização	Formação de solo	Matérias primas	Regulação de água	Estético
Coleta de lixo	Acúmulo de resíduos e proliferação de vetores de doença	Ciclagem de nutrientes	Água potável	Regulação de enfermidades	Estético
Esgotamento sanitário	Tratamento inexistente e lançamento inadequado de efluentes nos corpos hídricos	Ciclagem de nutrientes	Água potável	Regulação de enfermidades	Recreativo
Captação, tratamento, distribuição de água	Captação irregular de nascentes; captação acima da capacidade dos rios	Produção primária	Água potável	Regulação e purificação de água	Recreativo
Ocupação das praias	Utilização das praias acima da capacidade de carga*	Ciclagem de nutrientes	Recursos genéticos	Regulação de enfermidades	Recreativo
Degradação da balneabilidade (rios e praias)	Despejos de efluentes acima da capacidade de autodepuração do corpo receptor	Ciclagem de nutrientes	Água potável	Regulação de enfermidades	Recreativo
Tráfego de embarcações no mar	Grande trânsito de embarcações, com prejuízos para a água, a flora e a fauna.	Produção primária	Alimentos (afugentamento de peixes e outros animais marinhos)		Recreativo
Atracação/fundeio	Grande concentração de embarcações em um determinado local, com prejuízos para a água, a flora e a fauna.		Alimentos (afugentamento de peixes e outros animais marinhos)		Recreativo
Abastecimento	Realização de transbordo de combustíveis, com prejuízos para a água, a flora e a fauna.	Ciclagem de nutrientes	Alimentos (contaminação de peixes e outros animais marinhos)	Purificação de água (autodepuração)	Recreativo

*capacidade de carga refere-se ao nível de uso que a praia pode suportar sem afetar a sua qualidade ou, para este estudo, a conseqüente oferta de serviços ecossistêmicos.

1.3.1.5 O presente e o futuro da Ilha

Ao transformar a paisagem costeira do Litoral Norte – incluindo a Ilha - em urbano, a força motora de *urbanização e turismo* transformou o conceito de paraíso inexplorado em mercadoria a ser descoberta e vendida, passando a dar maior valor aos serviços ecossistêmicos culturais (recreação/ecoturismo), educação/pesquisa e estéticos.

Isso abriu a necessidade por novas fronteiras “inexploradas” de território, transformando isolamento e abandono em paisagens raras, dotadas de características excepcionais ausentes em regiões mais acessíveis da Ilha e de outras regiões do litoral paulista. Essas paisagens “inexploradas” compostas por praias isoladas, baías com abundância de peixes e naufrágios incentivaram a modalidade de turismo que mais cresce na Ilha: o turismo náutico. Este turismo é representado pelas atividades de regatas, passeios de barco, mergulhos em naufrágios, pesca e cruzeiros marítimos.

A promoção da Ilha como uma paisagem conservada e “inexplorada” atrai cada vez mais turista de todos os lugares. Um exemplo disso é a franca expansão dos cruzeiros realizados, principalmente no período de veraneio. Segundo dados da Brasil Cruise de 2009, Ilhabela passou de 13 escalas na temporada de 2000/2001 para 136 escalas na temporada de 2009/2010, se tornando a terceira cidade mais visitada pelos grandes navios. Isso significa que, pelo menos potencialmente, mais de 300.000 turistas desembarcaram na Ilha, ou seja, mais de 10 vezes a população do município.

As modificações provocadas na paisagem por esse tipo de turismo, impulsionado tanto pelas forças motoras de *urbanização e turismo*, quanto de *atividades costeiras*, ainda não são bem compreendidas, pois não se têm estudos que permitam afirmar sobre seus impactos, mas refletem a sua força e existência em toda a Ilha. Um exemplo disso é o atracadouro-restaurant (entre outras edificações como uma oficina de barcos) construído pelo Yacht Club de Ilhabela no Saco do Sombrio para uso exclusivo de seus associados e funcionários, e construído inteiramente dentro do PEIb (Figura 1.18; NOGARA, 2005; NOFFS, 2007). Além dessa atividade, existe a

compra de casas junto as comunidades tradicionais até então isoladas do outro lado da Ilha (PIRRÓ, 2008).

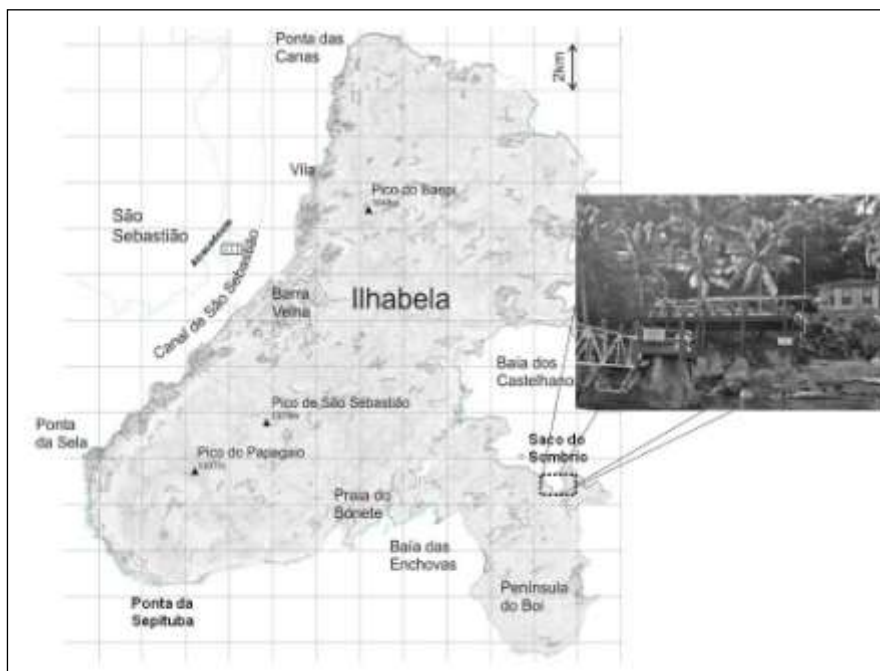


Figura 1. 17. Localização do Yatch Club Ilhabela no Saco do Sombrio (foto: NOFFS, 2007).

Sobreposta a esta forma de utilização da paisagem para fins turísticos, estão surgindo novos empreendimentos em todo o Litoral Norte que pretendem mudar a vocação da região. Nos próximos cinco anos serão implantados grandes projetos de infraestrutura, muitos deles relacionados à indústria do petróleo que, segundo MIRANDA (2010), deverá acirrar os processos migratórios para a região, trazendo para o Litoral Norte pessoas que irão se fixar de forma mais permanente, interferindo no atual perfil turístico da região. As obras previstas são: (a) obras de ampliação da rodovia dos Tamoios; (b) expansão do porto de São Sebastião; (c) construção da exploração de gás no Complexo Mexilhão na Bacia de Santos, e (d) a instalação de uma Unidade de Tratamento de Gás em Caraguatatuba. Esses grandes projetos, ainda que não realizados diretamente na Ilha, poderão causar ainda mais impactos, podendo comprometer a integridade da Mata Atlântica (HOGAN, 2009).

Trabalhos recentes comprovam que o aumento dos desmatamentos em ambas as margens do Canal de São Sebastião e o crescente processo de urbanização

e de construção de infraestruturas portuárias têm aumentado consideravelmente as distâncias entre as florestas do continente e da Ilha, o que dificulta ainda mais o deslocamento de aves e quirópteros que disseminam sementes e garantem a diversidade biológica da floresta da Ilha (GUIX, 2010). Nesse sentido, serviços ecossistêmicos que se reproduzem a partir da ocorrência de conectividade na paisagem ou são essenciais para a manutenção das funções como polinização e troca gênica são prejudicados ou podem até deixar de ser oferecidos.

1.3.2 Atuação das forças motoras ao longo da história e o estado de conservação ambiental da Ilha: uma síntese

O resumo histórico de uso e ocupação da Ilha nos últimos cinco séculos e a identificação de forças motoras responsáveis pela mudança da paisagem possibilitou a sistematização de uma linha do tempo de fatos e datas de relevante interesse para a compreensão do estado atual da paisagem, conforme resume a Figura 1.19.

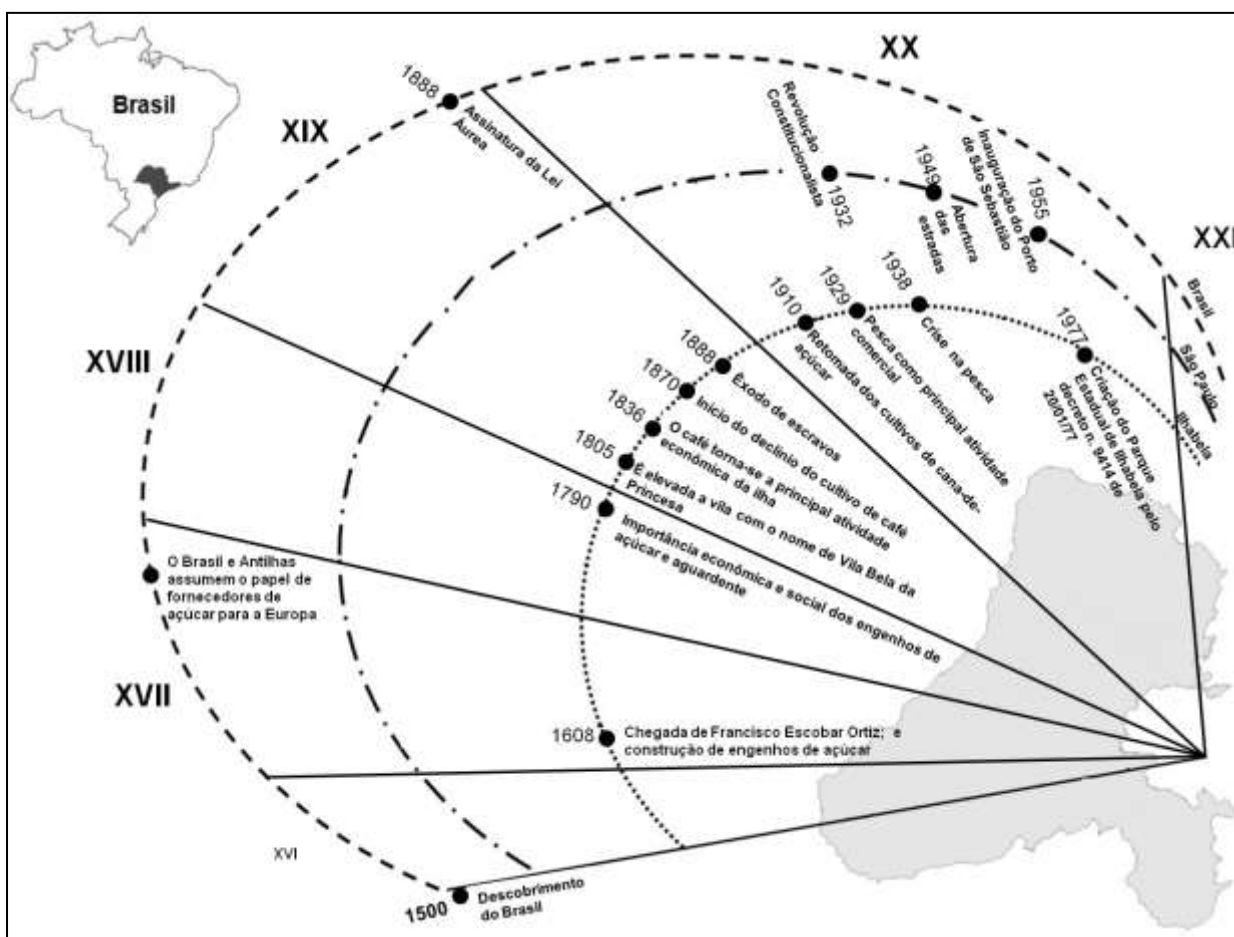


Figura 1. 18. Linha do tempo e atuação das forças motoras nas escalas local, estadual e federal.

É possível afirmar que a atuação da força de *atividades costeiras*, iniciada com a chegada dos portugueses na Ilha no início do século XVI, ocorreu quase simultaneamente a força de *ruralização*, uma vez que era preciso fixar essa nova população á terra recém “descoberta”. Apesar disso, a força de *ruralização* somente ganharia força e importância na modificação da paisagem com a chegada de Francisco E. Ortiz e a construção de engenhos para o cultivo de cana e produção de açúcar. Essa força atingiu o seu apogeu durante o período do ciclo do café. Sem deixar de existir, mas relevada a um segundo plano, a força de *atividades costeiras* se manteve atuante, mas somente voltaria a ter uma importância na modificação da paisagem quando do declínio da *ruralização* no final do século XIX. Obviamente, não é possível fornecer, com precisão, datas para os inícios e terminos das ações desencadeadoras de uma força motora, o que se justifica pela própria dinâmica da história e das relações entre

homem e natureza. No entanto, os períodos da história permitem evidenciar as grandes mudanças na paisagem, possibilitando reconhecer estados de conservação em determinados tempos. Dessa forma, reconhece-se que foi durante a atuação da força de *ruralização* que houve maior retirada de vegetação natural de toda a história da Ilha. A substituição da floresta pelo café foi de tal magnitude que seus reflexos ainda podiam ser observados na década de 1950, quando a força de *urbanização e turismo* começou a ganhar importância. A Figura 1.20, baseada nas informações de FRANÇA (1954) e BERTOLO (2009), mostra o quanto da área de floresta se perdeu durante a ação da força de *ruralização* e, posteriormente, o quanto ela recuperou durante a segunda metade do século XX.

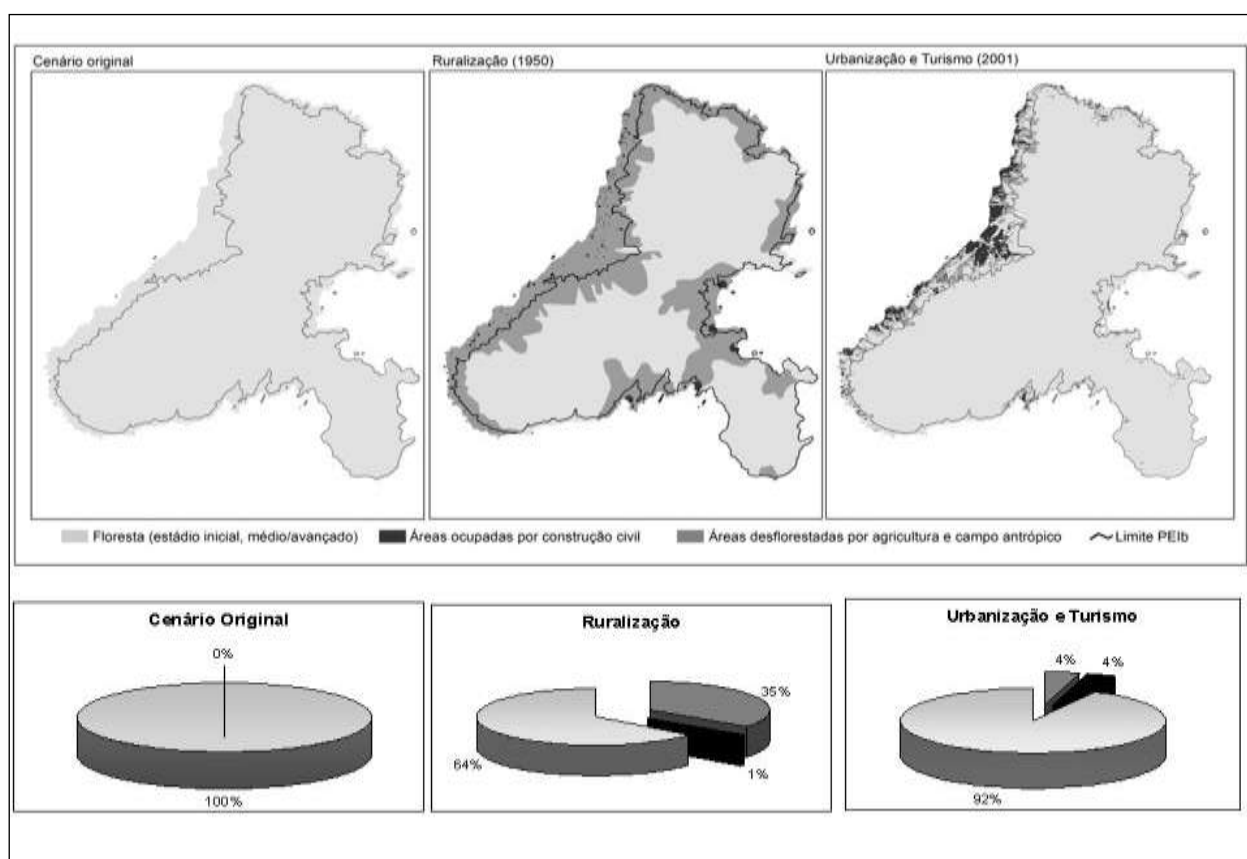


Figura 1. 19. Evolução da paisagem na Ilha, evidenciando as perdas e ganhos da floresta em relação aos períodos de atuação de forças motoras (baseado em FRANÇA, 1954 e BERTOLO, 2009).

A Figura 1.20 também possibilita observar a importância da criação do Parque Estadual de Ilhabela, em 1977. A recuperação da floresta das cotas mais altas para as mais baixas, concomitante com o aumento da urbanização entre 1950 e 2001, somente foi possível pela existência de um limite para o aumento das ocupações na região da Ilha voltada para o canal.

As mudanças no uso da terra relacionadas às forças motoras indicaram a existência de, pelo menos, quatro padrões distintos distribuídos nos setores denominados neste estudo com Norte, Sul, Leste e Oeste da Ilha, conforme expressa a Figura 1.21. Esses padrões foram determinados pelo local que centraliza a ação da força em um tempo da história e pela intensidade com que essa força atua nesse território durante esse tempo.

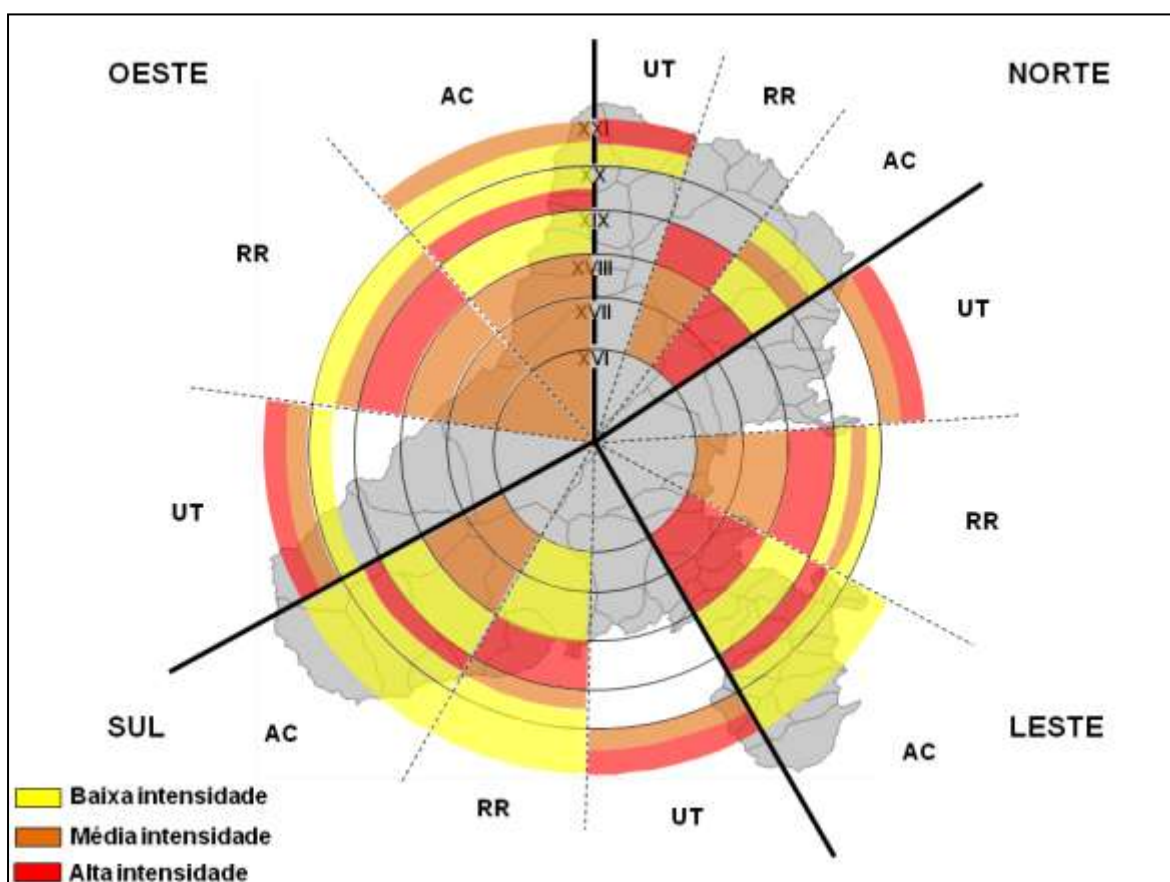


Figura 1. 20. Variação de intensidade e de localização das forças motoras ao longo do tempo e dos quatro setores denominados neste estudo como Norte, Sul, Leste e Oeste. AC: força motora de atividades costeiras; RR: força motora de ruralização; UT: força motora de urbanização e turismo.

Enquanto que a ocupação da Ilha no setor Oeste (Figura 1.21) ocorreu quase simultaneamente com a chegada dos portugueses ao Brasil, nos demais setores essa ocupação, ainda que muito pequena, se iniciaria quase um século depois. Conforme já citado, essas pequenas ocupações isoladas ao redor da Ilha (nos setores Norte, Sul, e Leste) dependiam do comércio com o continente e com a Vila, assim explicando a prevalência da intensidade das forças de *atividades costeiras* sobre de *ruralização*, principalmente, nos séculos XVII e XVIII. De forma diversa, no setor Oeste essas duas forças motoras foram identificadas como de mesma intensidade, devido a instalação dos engenhos e da movimentação de cargas e pessoas entre a Ilha e o Continente.

No entanto, no século XIX, a devastação da vegetação natural pelo cultivo de café atingiu com grande intensidade todos os setores da Ilha (Figuras 1.20 e 1.21). Até esse momento, as atuações e intensidades das forças motoras no diferentes setores apresentavam um escala temporal secular, mostrando que mesmo em grandes intensidades as alterações na paisagem ocorriam de forma gradual, permitindo, ainda que parcialmente, a manutenção e recuperação dos serviços ecossistêmicos necessários para o suporte das atividades humanas de cultivo e pesca.

A partir do século XX, a alternância das forças e das suas intensidades foi mais vigorosa. Pela primeira vez na história da Ilha, em apenas um século as três forças motoras se alternaram em intensidade até que, a partir da segunda metade do século, a força de *urbanização e turismo*, superou as demais. Ainda assim, ela ocorreu inicialmente no setor Oeste, para somente depois se espalhar para o resto da Ilha. A ocorrência tardia dessa força nos setores Norte, Sul e Leste podem ser explicados pelas suas localizações geográficas (mais distantes do continente), restrições ambientais (maior presença de litorais rochosos, por exemplo), mas principalmente pela criação do PEIb.

Em síntese, de acordo com as Figuras 1.20 e 1.21, é possível deduzir que a alternância espacial e temporal das forças motoras causou um acúmulo de efeitos negativos, gerando impactos que se sobrepõem e sinergizam as consequências danosas aos ecossistemas naturais (HEGMANN *et al.* 1999; HALPERN *et al.*, 2008) diferentemente em cada setor da Ilha. Desta forma, os efeitos cumulativos são maiores

do que realmente parecem ser (YANG *et al.*, 2010; TERRA, 2010), principalmente no setor Oeste.

É provável que essas alternâncias de forças, intensidades, mudanças e acúmulos de impactos na paisagem tenham afetado a oferta de serviços ecossistêmicos ao longo do tempo e do espaço na Ilha. Portanto, a paisagem atual é um mosaico dessas complexas interações, sendo assim muito difícil indicar com exatidão quais serviços foram perdidos ou degradados. No entanto, podem-se supor as condições atuais gerais dos serviços, uma vez que diversos trabalhos relacionam as mudanças no uso da terra com a degradação dos serviços ecossistêmicos.

A maioria destes trabalhos trata da utilização dos serviços e a sua degradação, quando a capacidade de suporte do meio em oferecer os serviços é ultrapassada. De acordo com estes trabalhos, as atividades agrícolas (representativas da força de *ruralização*) utilizam com maior intensidade os serviços relacionados à categoria de regulação (M.A., 2005) como *habitat*; regulação da água (fluxo e qualidade); seqüestro de carbono; regulação de gás e climática; controle biológico; controle da erosão (PAETZOLD *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2006; De GROOT *et al.*, 2010). Além destes, os serviços relacionados à categoria de suporte como ciclagem de nutrientes e formação de solo também seriam muito utilizados (PAETZOLD *et al.*, 2010). A pesca e as atividades de navegação (representativas da força motora de *atividades costeiras*) também utilizariam os serviços relacionados à categoria de regulação como *habitat*, qualidade de água e controle de erosão/assoreamento (este último mais relacionado a rios e mangues), serviços de suporte como produção primária (tanto terrestre quanto aquático), mas principalmente o serviço de abastecimento representado pelo estoque pesqueiro (PAETZOLD *et al.*, 2010) e recursos genéticos. Para o uso da terra voltado à urbanização, a degradação dos serviços é mais severa, uma vez que a supressão da vegetação, canalização de rios e impermeabilização do solo atinge os serviços de suporte e regulação, responsáveis pela manutenção e oferta de quase todos os serviços ecossistêmicos (Tabela 1.2). Assim, quanto maior a área urbanizada, menor a possibilidade de oferta de serviços nas categorias de suporte, regulação e abastecimento. No entanto, mesmo com o aumento da urbanização outros serviços continuam a ser oferecidos como, por exemplo, os relacionados à categoria

cultural como recreação, ecoturismo, contemplação e beleza cênica. Baseados nessas premissas, BRAAT e TEM BRINK (2008) sugerem um conjunto simplificado de relações entre níveis de oferecimento de serviços ecossistêmicos, o grau de perda de biodiversidade e os diferentes sistemas de manejo (De GROOT *et al.*, 2010). A comparação entre as informações gráficas desses autores e os dados obtidos neste estudo permitiu supor, de forma generalizada, as intensidades de degradação dos serviços para cada setor da Ilha em função da sobreposição das forças motoras, conforme Figura 1.22.

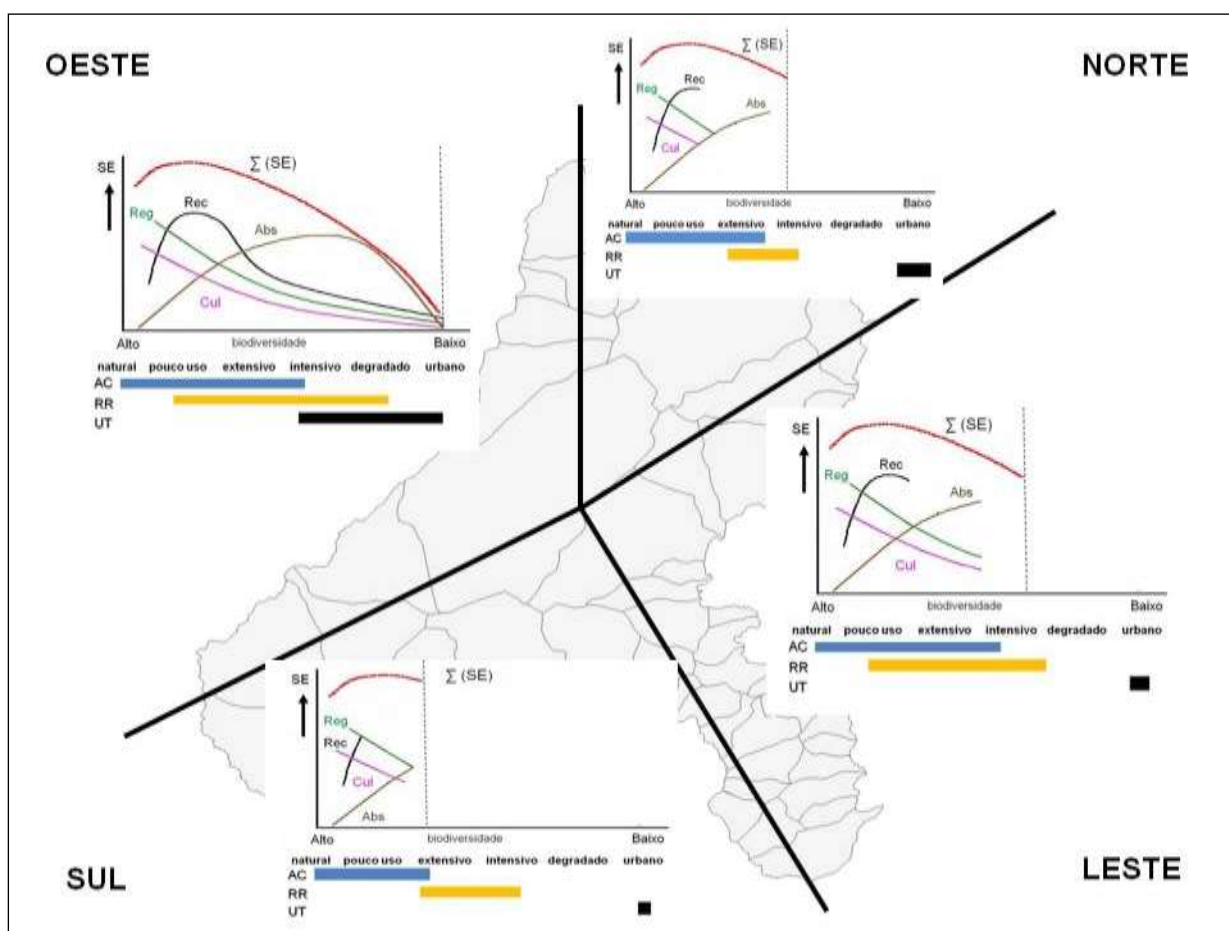


Figura 1. 21. Provável disponibilidade de serviços ecossistêmicos para cada um dos quatro setores da Ilha de São Sebastião, de acordo com as relações funcionais entre tipos de serviços, grau de perda da biodiversidade e as forças motoras (adaptado de BRAAT e TEM BRINK, 2008).

Em virtude da prevalência e intensidade de forças motoras, o setor Oeste deve ter a maior perda de biodiversidade e degradação dos serviços, enquanto que o setor Leste denota principalmente a degradação da oferta de serviços de regulação e abastecimento, muito em função do uso agrícola e pesqueiro. Entre os setores Norte e Sul, que menos degradaram seus serviços ecossistêmicos, há uma distinção a ser relevada, uma vez que ao Norte existe hoje uma grande possibilidade de acesso a essa área e, portanto, uma maior probabilidade de consumo dos serviços.

Em síntese, a grande preocupação é com a perda ou degradação dos serviços de suporte e de regulação, que formam a base para o oferecimento de todos os outros serviços, principalmente tratando-se do setor oeste da Ilha.

1.4. Conclusão

A avaliação de cinco séculos de uso da terra na Ilha de São Sebastião permitiu identificar a ação de três forças motoras (urbanização/turismo, ruralização e atividades costeiras) primordiais na estruturação da paisagem, sendo que a ruralização foi a de maior impacto, pela ampla e intensa supressão da floresta durante o apogeu do café. Em sentido oposto, a criação do Parque Estadual de Ilhabela catalisou a recuperação da floresta, das cotas mais altas para as mais baixas, gerando um cenário com cobertura florestal maior que 92% do total da Ilha. Destaca-se que há uma evidente variação intensidade e localização das forças motoras ao longo do tempo, que permitiu a identificação de 4 setores territoriais. Desta forma, concluiu-se que a alternância espacial e temporal das forças motoras em cada setor causou um acúmulo específico de efeitos negativos, gerando impactos que se sobrepuseram e sinergizaram as conseqüências danosas aos ecossistemas naturais. Em virtude da prevalência e intensidade de forças motoras, presumiu-se que o setor Oeste da Ilha é aquele com maior perda de biodiversidade e degradação dos serviços ecossistêmicos, principalmente em relação às categorias de suporte e regulação.

As relações entre as mudanças de uso, a atuação das forças e os impactos ao longo do tempo nos dão indicativos de que a quantidade de floresta presente na Ilha

de São Sebastião não permitiu concluir generalizadamente sobre a qualidade, muito menos sobre os serviços ecossistêmicos disponíveis, pois a cobertura florestal detém diferentes sinais da história e de impactos cumulativos em cada porção territorial, o que conduz a quadros específicos de oferta de serviços.

1.5. Bibliografia

- ANDRADE, D.C. E ROMEIRO, A.R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, n. 159. ISSN 0103-9466. 2009.
- ANTROP, M. Background concepts for integrated landscape analysis. *Agriculture, Ecosystems, and the Environment* 77:17-28.2000.
- ANTROP, M. Continuity and change in landscapes. In: Mander, Ü. and Antrop, M. eds. *Multifunctional landscapes. Vol 3. Continuity and change*. WIT, Southampton, 1-14. *Advances in ecological sciences vol. 16*. 2003a.
- BRAAT, L., ten BRINK, P. *et al.* (eds.) *The Cost of Policy Inaction: The Case of Not Meeting the 2010 Biodiversity Target*. Report for the European Commission, Wageningen/Brussels, 2008. Disponível em: <http://ec.europa.eu>
- BERTOLO, L. S. Medidas de mudança espaço-temporal como fonte de identificação das linhas de evolução de uma paisagem costeira – Estudo de caso: Ilha de São Sebastião – SP. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC. Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Campinas, 195p, 2009.
- BERTOLO, L. S.; LIMA, G. T. N. P.; SANTOS, R. F. Spatiotemporal change indexes to identify the historical evolution in a coastal region – case study: São Sebastião Island– SP. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 37-47. 2010.
- BRASIL. Decreto nº 9.414 de 20 de janeiro de 1977. Institui o Parque Estadual de Ilhabela. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 20 de jan. 1977.
- BÜRGI, M.; HERSPERGER, A.M.; SCHNEEBERGER N. Driving forces of landscape change—current and new directions. *Landscape Ecol* 19:857–868. 2004.
- CALI, Plácido. Relatório de Atividades do Projeto Arqueológico de Ilhabela. São José dos Campos: Gestão Arqueológica Consultoria, 2006.
- CALVENTE, Maria del Carmen M. H. No Território do Azul-Marinho. A busca do espaço caiçara. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana). Faculdade de Filosofia, Letras, e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. 1993.

- CHEN, J.; SAUNDERS, S. C.; BROSOFSKE, K. D.; CROW, T. R. Ecology of Hierarchical Landscapes: From Theory to Application. Nova Science Publishers, New York, USA. 2006.
- DALE, V.H., BROWN, S., HAEUBER, R.A., *et al.*, Ecological principles and guidelines for managing the use of land. Ecological Applications, 10 (3), 639-670. 2000.
- DALY, H.E.; FARLEY, J. Ecological Economics: principles and applications. Island Press, Washington, DC. 2004.
- DE GROOT, R.; WILSON, M.A.; BOUMANS, ROELOF M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics 41: 393-408. 2002.
- DE GROOT, R.S.; ALKAMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity, 7, 260-272. 2010.
- DIEGUES, A.C. Repensando e recriando as formas de apropriação comum dos espaços e recursos naturais. In: VIEIRA, P.F.; WEBER, J. (org.). Novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez. p. 407-432. 1997.
- EETVELDE, V. V.; ANTROP, M. Analyzing structural and functional changes of traditional landscapes—two examples from Southern France. Landscape and Urban Planning, v. 67, n° 1-4, p. 79–95, 2004.
- FBDS - FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Organização, manipulação e geração de dados georreferenciados e alfanuméricos para subsídio ao projeto de sustentabilidade socioambiental da PETROBRAS. 7 volumes. 2004.
- FRANÇA, A. A Ilha de São Sebastião: estudo de geografia humana. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Boletim 178, Geografia n.10. 1954.
- FUNDAÇÃO S.O.S. MATA ATLÂNTICA. Disponível em < <http://www.sosmatatlantica.org.br>> acessado em 15/12/2006.
- GARROTE, V. Os quintais caiçaras, suas características sócio-ambientais e perspectivas para o saco do Mamanguá, Paraty-RJ. Dissertação de mestrado Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004, 186 p.
- GEIST, H.; MCCONNELL, W.; LAMBIN, E. F.; MORAN, E.; ALVES, D.; RUDEL, T. Causes and trajectories of land-use/cover change. In: LAMBIN, Eric; GEIST, Helmut (Ed.). Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts. Springer, p. 41-69. 2006.
- GIANENSELLA, Rubens Ramos. Paisagens no tempo: vilas litorâneas paulistas. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – USP. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 193p, 2008.
- GONÇALVES, Carlos Walter P. Os (Des)Caminhos do Meio Ambiente. 11 ed. São Paulo, Contexto, 2004.

- GUIMARÃES, Mônica Souza. Análise do crescimento urbano de Ilhabela: seus reflexos e as perspectivas de planejamento para o município. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 166p. 2006.
- HALPERN, B.; WALBRIDGE, S.; SELKOE, K.; *et al.* A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319, 15 February. 2008.
- HEGMANN, G., COCKLIN, C., CREASEY, R., DUPUIS, S., KENNEDY, A., KINGSLEY, L., *et al.* Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide. Hull, Quebec: Prepared by AXYS Environmental Consulting Ltd. and the CEA Working Group for the Canadian Environmental Assessment Agency. 1999.
- HOGAN, D.J. Urban Growth, Vulnerability and Adaptation: social and ecological dimensions of climate change on the Coast of São Paulo. Projeto de Pesquisa enviado ao Programa de Mudanças Climáticas Globais da Fapesp (PMCGF), 2009, 41 p.
- HUETING, R., REIJNDERS, L., de BOER, B., LAMBOOY, J., JANSEN, H. The concept of environmental function and its valuation. *Ecological Economics* 25, 31-35. 1997.
- HUSTON, M.A. The three phases of land-use change: implications for biodiversity. *Ecological Applications*, 15 (6), 1864-1878. 2005.
- IBGE. Atlas Nacional do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007.
- KLIJN, J.A., 2004. Driving forces behind landscape transformation in Europe, from a conceptual approach to policy options. In: Jongman, R.H.G. (Ed.), *The New Dimensions of the European Landscape*. Wageningen UR Frontis Series, vol. 4. Springer, New York, 259pp.
- KOESTER – GOBBO, S. Padrão de distribuição e abundância de aves e mamíferos de médio e grande porte em Ilhabela, SP, Brasil. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007, 94 p.
- KREUTER, U.P.; HARRIS, H.G.; MATLOCK, M.D.; LACEY, R.E. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics*, 39, 333-346. 2001.
- LESER, H. 1991. *Landschaftsoekologie*. Eugen Ulmer GmbH, Stuttgart. 1991.
- LINDENMAYER, D. B. and FISCHER, J. Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis. Washington D.C.: Island Press, 2006.
- MARCUCCI, D.J. Landscape history as a planning tool. *Landscape and urban planning*, 49, 67-81, 2000.
- MELLO, A. Y. I; D'ANTONA, A. O.; ALVES, H. P. F.; CARMO, R.L. Análise da vulnerabilidade socioambiental nas áreas urbanas do Litoral Norte de São Paulo. V Encontro Nacional da Anppas, 4 a 7 de outubro de 2010. Florianópolis – SC – Br. Acessado em: 12/12/2010.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, v. 1, n.1/2, 2001.

- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA). Ecosystem and human well-being: a framework for assessment. Island Press, Washington, DC. 2005.
- MIRANDA, Z. A. I. . Sociedade, Ecologia, Economia e Mudanças Climáticas no litoral paulista. In: V Encontro Nacional da Anppas, 2010, Florianópolis. Anppas 10 anos: avaliando os desafios teóricos e as novas agendas públicas, 2010.
- MUSSOLINI, Gioconda. Ensaios de Antropologia indígena e caiçara. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1980.
- NAVEH, Z. e LIEBERMAN, A.S. Landscape ecology: theory and application. 2nd. Springer, New York. 1994.
- NOFFS, Paulo da Silva. A disputa pela hegemonia do espaço na baía dos Castelhanos. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo. 261p. 2007.
- NOGARA, Paulo; PIRRÓ, Mariana; MANTCHEV, Alain. Subsídios para o Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela: Inserção das comunidades caiçaras. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo - Instituto Florestal. 2005.
- PAETZOLD, A.; WARREN, P.H.; MALTBY, L. A framework for assessing ecological quality based on ecosystem services. Ecological Complexity, 7, 273-281. 2010.
- PIMENTA, C. A. M.; FRUGOLI, R. M. Turismo no litoral: perspectivas e possibilidades. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté: Unitau, v. 2, n. 1, jan./ abr. 2005.
- PIMENTEL, Alessandra. O método da análise documental: seu uso numa pesquisa historiográfica. In. Cadernos de Pesquisa. São Paulo, n. 114, 2001.
- PIRRÓ, Mariana Soares de Almeida. Práticas de pesquisa de campo com comunidades tradicionais: contribuições para a gestão participativa do Arquipélago de Ilhabela-SP. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 143p. 2010.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHABELA. Plano gestor de turismo – Estância Balneária Ilhabela, 2005.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHABELA. Plano gestor de turismo – Estância Balneária Ilhabela, 2007.
- RESSURREIÇÃO, R. D. São Sebastião: transformações de um povo caiçara. São Paulo: Humanitas, 2002. 256 p.
- ROCHA, José das Dores de Sá; SILVA, José de Arimatéia. As funções de estado na área florestal: suas interrelações com a constituição federal e com o Programa Nacional de Florestas. Floresta, Curitiba, PR, v. 39, n. 2, p. 253-271, abr./jun. 2009.
- SANTOS, R. F. Planejamento ambiental – teoria e prática. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.

- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado de Meio Ambiente. Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo: Parte I – Litoral. Secretaria de Energia, CESP. São Paulo: 30p. 1996.
- SÃO PAULO (Estado). Planos de manejo das unidades de conservação - Parque Estadual de Ilhabela. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 1998.
- SCHENEEBERGER, Nina; BÜRGI, Matthias; HERSPERGER, Anna; EWALD, K.C. Driving forces and rates of landscape change as a promising combination for landscape change research – An application on the northern fringe of the Swiss Alps. *Land Use Policy*, 24, 349-361. 2007.
- SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Relatório Estadual de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – 2010. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. 2010.
- SILVA, Armando Corrêa da. O litoral norte do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Geografia – USP, 1975.
- TEKLEMBURG, J.; TIMMERMANS, H.; BORGES, A. Design tools in a integrated CAD-GIS environment: space syntax as an example. In: H. Timmermans (Ed), *Decision support systems in urban planning*. London: E e FN Spon, 261-276. 1997.
- TERRA, Talita N. Efeitos cumulativos e a construção de cenários em paisagens legalmente protegidas. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC. Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Campinas, 121p, 2010.
- TOLEDO, Francisco Sodero. Os caminhos do ouro. 2000. Disponível em <http://www.valedoparaiba.com/terragente/artigos/art0012000.html>. Acesso em maio de 2009.
- TORRES, R. A migração da piscicultura. *Aqüicultura e Pesca*, São Paulo, n. 32, ano III, p. 22-26, mar./abr. 2008.
- VALVERDE, V.; ROLDÁN MARTÍN, M.J.; CAMPOS, Germán; PÉREZ, Pablo; MARTÍN DE ÁGAR, Pilar; PABLO, Carlos T.L. Análisis de la estructura espacial del paisaje: mosaicos del paisaje. In: *Introducción al Análisis Espacial de Datos em Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones*. Fernando Maestrem Adrián Escudero e Andreu Bonet (Ed). 16p. 2008.
- VIEIRA, Rosana, SANDEVILLE JUNIOR, Euler. A construção das paisagens dos sertões litorâneos. *OLAM (Rio Claro)*. , v.7, p.1 - 10 , 2007.
- WANG, Z.M.; ZHANG, B.; ZHANG, S.Q.; LI, Z.Y.; LIU, D.W.; SONG, K.S.; LI, J.; DUAN, H. Changes of land use and of ecosystem services value in Sanjiang Plain, Northeast China. *Environmental Monitoring and Assessment* 112, 69-91. 2006.
- WOOD, R. e HANDLEYJ. Landscape dynamics and the management of change. *Landscape Research* 26: 45–54. 2001.

WU, J. e HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landsc. Ecol* 17:355–365. 2002.

YANG, C.; Wonh, D.; MIAO, Q.; YANG, R. *Advanced geolnformation science*, CRC Press. 608p. 2010.

Capítulo 2

Medidas da trajetória evolutiva de uma paisagem costeira. Estudo de caso: Ilha de São Sebastião – Brasil.

2.1. Introdução

As mudanças no uso e na cobertura da terra têm importantes efeitos sobre os recursos naturais, afetando mecanismos-chave do funcionamento (WANG, 2006) e da oferta de serviços dos ecossistemas (KREMEN, 2005; MOBERG e RÖNNBÄCK, 2003). Dentro desse enfoque, vários pesquisadores têm se empenhado em estudar as causas, os processos e as conseqüências das mudanças do uso da terra, principalmente como tópico de pesquisa em ecologia de paisagens (WU e HOBBS, 2002; BÜRGI *et al.*, 2004; BERTOLO *et al.*, 2010) e para a valoração dos serviços ecossistêmicos (KREUTER *et al.*, 2001; XIAO *et al.*, 2006; DE GROOT *et al.*, 2010).

Nesse sentido, diversos estudos têm abordado os efeitos da velocidade da mudança de tipos de uso da paisagem em várias partes do mundo como China (WENG, 2007), Egito (SHALABY e TATEISHI, 2006), Espanha (SERRA *et al.*, 2008) e Brasil (BERTOLO *et al.*, 2010). Para tanto, foram desenvolvidas diversas formas de análise da paisagem que consideram a identificação das forças motoras em diferentes escalas espaciais e temporais, e as velocidades de mudança que provocam (ANTROP, 2003; HUSTON, 2005; BURGI *et al.*, 2004; SCHNENBERGER *et al.*, 2007); o sentido da

mudança para a degradação e perda de ecossistemas costeiros (TANG *et al.*, 2005; PATZ *et al.*, 2004) ou para a recuperação da qualidade ambiental (LINDNMAYER e FISCHER, 2006; VELLEND, 2003); e quantificam a magnitude, extensão, frequência e velocidades dessas mudanças na paisagem (ANTROP, 2003; VALVERDE *et al.*, 2008; BERTOLO *et al.*, 2010). Outros trabalhos relacionam a mudanças de uso da terra à perda ou degradação da oferta de serviços ecossistêmicos (KREMEN, 2005; MOBERG e RÖNNBÄCK, 2003; BARBIER *et al.*, 2008) e enfatizam a importância da análise da estrutura da paisagem associada à valoração dos serviços (KREUTER *et al.*, 2001).

Cada um desses estudos tem respostas específicas não só em função da localização geográfica, características naturais e antrópicas locais ou da composição e da configuração da paisagem, mas também em relação ao poder de influência das forças motoras que estimulam mudanças ao longo do tempo, criando um acúmulo diferenciado de efeitos, seja positivos ou negativos (BERTOLO *et al.*, 2009 e 2010).

No entanto, os estudos que tratam sobre esses temas não fazem a ligação entre todas estas variantes, o que limita a compreensão da influência das mudanças da paisagem sobre a oferta de serviços ecossistêmicos.

Com o intuito de preencher essa lacuna de conhecimento, esse trabalho parte da hipótese de que a trajetória evolutiva de uma paisagem costeira, produzida pela ação das forças motoras de mudança, pode ser descrita e medida por meio da análise da complexidade estrutural de cada fração do território e, que os diferentes estágios evolutivos, produzem reflexos na variação da oferta dos serviços ecossistêmicos. Para avaliar a viabilidade desta hipótese, o trabalho desenvolveu uma sequência metodológica a partir de três premissas básicas: (i) a atuação diferenciada das forças motoras na Ilha gerou, para cada unidade territorial, uma paisagem em uma fase de evolução histórica específica; (ii) dentro de cada unidade, o gradiente interno de mudança reflete as variações na estrutura da paisagem, que por sua vez, podem ser interpretadas por vetores que indicam o sentido da conservação ou degradação; e (iii) que todos estes fatores afetam, também de forma diferenciada, a oferta de serviços ecossistêmicos.

Espera-se que, com essa abordagem, facilite a elaboração de planejamentos ambientais em áreas costeiras que neutralizem as mudanças da paisagem causadas

pelo crescimento urbano e os efeitos negativos destes sobre a oferta de serviços ecossistêmicos.

2.2. Material e métodos

2.2.1 Delineamento metodológico

Para o delineamento do trabalho, três premissas – transformadas em passos metodológicos - foram elaboradas de modo a auxiliar o desenvolvimento analítico aplicado à área de estudo, conforme descrito a seguir.

- (a) *A atuação diferenciada das forças motoras na Ilha gerou para cada unidade territorial uma paisagem que tem uma fase específica de evolução histórica*

Para determinar as diferentes fases de evolução da paisagem da Ilha em cada unidade de território (microbacia hidrográfica) foram realizadas medidas de mudança, de acordo com métodos desenvolvidos por FUJIHARA *et al.* (2005) e BERTOLO *et al.* (2010). Para tanto, foram utilizadas informações bibliográficas dos cinco séculos de ocupação da Ilha, além de imagens de satélite, fotografias aéreas, fotos históricas, croquis e mapas, como descrito na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1. Sumário dos materiais utilizados para reconstrução espacial das fases de evolução da paisagem e seus vetores de mudança.

Data	Material	Fonte
Até 1950	Levantamento histórico, figuras e imagens obtidas em textos antigos	Bases Scielo, ATHENA (UNESP), SOPHIA (UNICAMP), DEDALUS (USP), Biblioteca Municipal de São Sebastião, Biblioteca Pública “ <i>Prefeita Nilce Signorini</i> ” (Ilhabela), e em órgãos públicos do Estado de São Paulo (CETESB, DERSA, Instituto Agrônomo de Campinas) e em <i>sites da internet</i>
Década de 1950	Coleção de fotos antigas da Ilha de São Sebastião	Secretaria da Cultura do Município de Ilhabela
1954	Croqui de uso da terra da Ilha de São Sebastião	FRANÇA (1954)
1962	Fotografia aérea pancromática. Escala 1:35.000.	Laboratório de aerofoto e sensoriamento remoto (LASERE) da Faculdade de Filosofia e Ciências e Humanas da Universidade de São Paulo (FLCH, USP)
1975-1985	Levantamento histórico, figuras e imagens obtidas em textos antigos	Bases Scielo, ATHENA (UNESP), SOPHIA (UNICAMP), DEDALUS (USP) e agências governamentais
1987	Landsat 5 TM ¹ , resolução 30m. Escala 1:50.000 Bandas 3, 4 e 5. Órbita/ponto 218/077	http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/
2001	Landsat 7 ETM ⁺² , resolução 30m. Escala 1:50.000 Bandas 3, 4 e 5. Órbita/ponto 218/077	Laboratório de planejamento ambiental da Universidade Estadual de Campinas (LAPLA/UNICAMP)
	Fotografia aérea ortorretificada. Escala 1:35.000.	Instituto Florestal do Estado de São Paulo

A partir dessas informações, quatro classes tipológicas (floresta em estágio secundário médio-tardio - VN; floresta em estágio secundário inicial - VD; campo antrópico - CA; e área urbanizada - AU) foram mapeadas em 61 microbacias hidrográficas, entre os anos de 1987 e 2001, utilizando o SIG ArcGis 9.2. Os valores de área de cada classe em cada microbacia foram tabulados, sendo aplicados a todos

esses valores um fator de correção que exprime a sua relação com o tamanho de microbacia hidrográfica¹⁰ (BERTOLO *et al.* 2010). Este procedimento possibilitou comparar e identificar as diferenças entre as unidades em um mesmo ano, bem como as mudanças de uso da terra ao longo dos anos. Sobre esses dados foi aplicada a análise de tabulação cruzada para obter um índice que determinou o saldo de mudança (mudança em direção à conservação ou saldo positivo; mudança em direção ao uso ou saldo negativo), conforme Figura 2.1 e Equação 2.1. Além disso, os valores de mudança foram inseridos na Equação de FUJIHARA *et al.* (2005), permitindo calcular a dominância tipológica (ID) dentro de cada unidade de estudo.

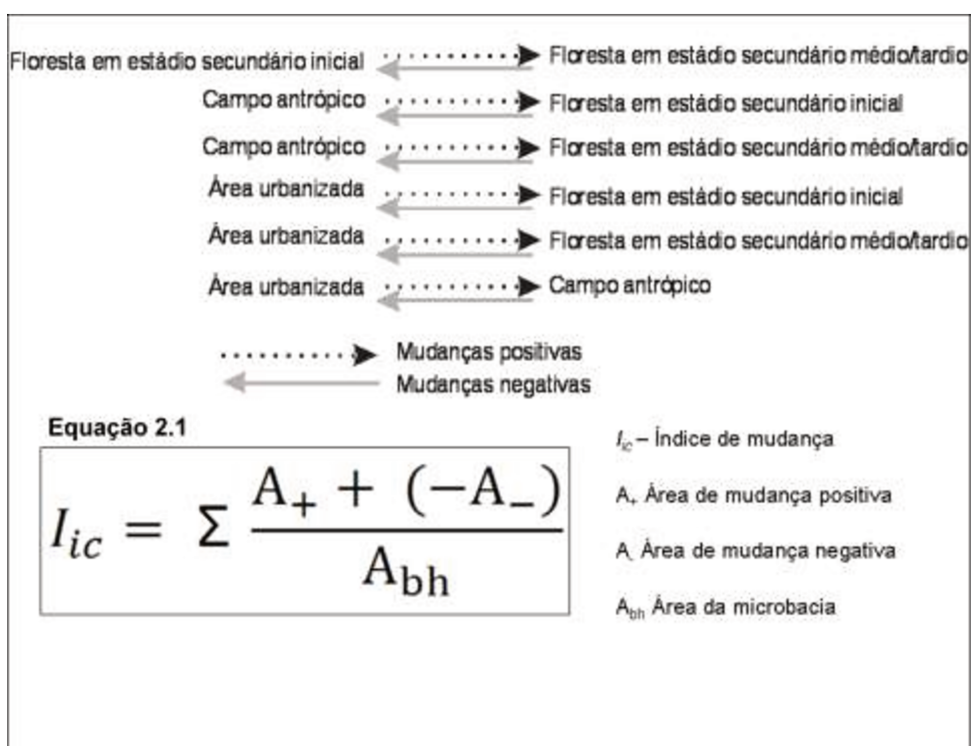


Figura 2. 1. Regras para a determinação do sinal nas mudanças tipológicas e índice de Conservação (IC).

¹⁰ $f_c = \frac{A}{A_i}$, onde: "A" é a média das áreas de todas as microbacias (549,66 ha); e "A_i" é a área da microbacia "i"

A comparação entre os índices de dominância e os saldos de mudança permitiu definir um gradiente que foi traduzido em cinco fases de evolução histórica. Dessa forma, as 61 microbacias hidrográficas foram qualificadas de acordo com essa classificação.

- (b) *Cada microbacia hidrográfica em sua fase de evolução histórica apresenta um gradiente interno de mudança que reflete as variações na estrutura da paisagem. Para fazer o reconhecimento dessas variações e a identificação dos vetores que conduziram à mudança é necessária uma análise em escala de maior detalhe.*

Para avaliar as mudanças dentro das microbacias e entender como os vetores de mudança atuam em cada uma das cinco fases de evolução foi realizada uma análise em escala de maior detalhe. Para tanto, foram utilizadas fotografias aéreas (Tabela 2.1) dos anos de 1962 e 2001, georreferenciadas e mapeadas em SIG ArcGis 9.2, conforme descrito em TERRA (2010). Este procedimento possibilitou comparar os gradientes internos de influência histórica e quantificar a mudança dentro das microbacias em cada fase de evolução.

Com o objetivo de analisar a heterogeneidade estrutural das paisagens das microbacias trecho a trecho, as suas áreas, nas duas datas de análise, foram subdivididas em células hexagonais de 1 hectare (FUJIHARA E KIKUCHI, 2005). Essa forma geométrica auxiliou a interpretação porque facilitou a observação das relações de vizinhança (BIRCH *et al.* 2007, SCHINDLER *et al.* 2008 e MATEUCCI E SILVA, 2005) e minimizou a relação perímetro/área, possibilitando uma melhor cobertura da paisagem analisada (ALVARES-ALFONSO, 1990). Para tanto, utilizou-se a extensão *Patch Analyst* do ArcGIS, conforme descrito por REMPEL *et al.* (1998). Em cada hexágono foram somados todos os polígonos pela aplicação da métrica NPATCHES (*landscape level*), independentemente do tipo de classe. Esta análise apesar de possibilitar a inferência sobre a heterogeneidade estrutural do lugar não revelou se a configuração

está direcionada para o uso ou para a conservação (BIRCH et al., 2007). Para tanto, foi realizada a análise direcional da mudança (para o uso ou para a conservação), por meio da metodologia de BERTOLO (2009) e BERTOLO *et. al* (2010), que possibilitou a identificação dos tipos de mudança ocorridos num intervalo de 40 anos em cada hexágono. Foram atribuídos valores que consideraram a relação de mudança entre uso e conservação, de forma a obter o saldo da mudança dentro de cada hexágono. Esses valores foram obtidos a partir de uma matriz, que relaciona as classes mapeadas entre 1962 e 2001 e atribuem valores (Cp). Para se chegar a um único valor por hexágono foi aplicada a Equação 2.2. Todo o procedimento está esquematizado na Figura 2.2, que indica também a interpretação do cálculo de V_{Hi} , que objetiva resumir a informação sobre a mudança em cada hectare de território.

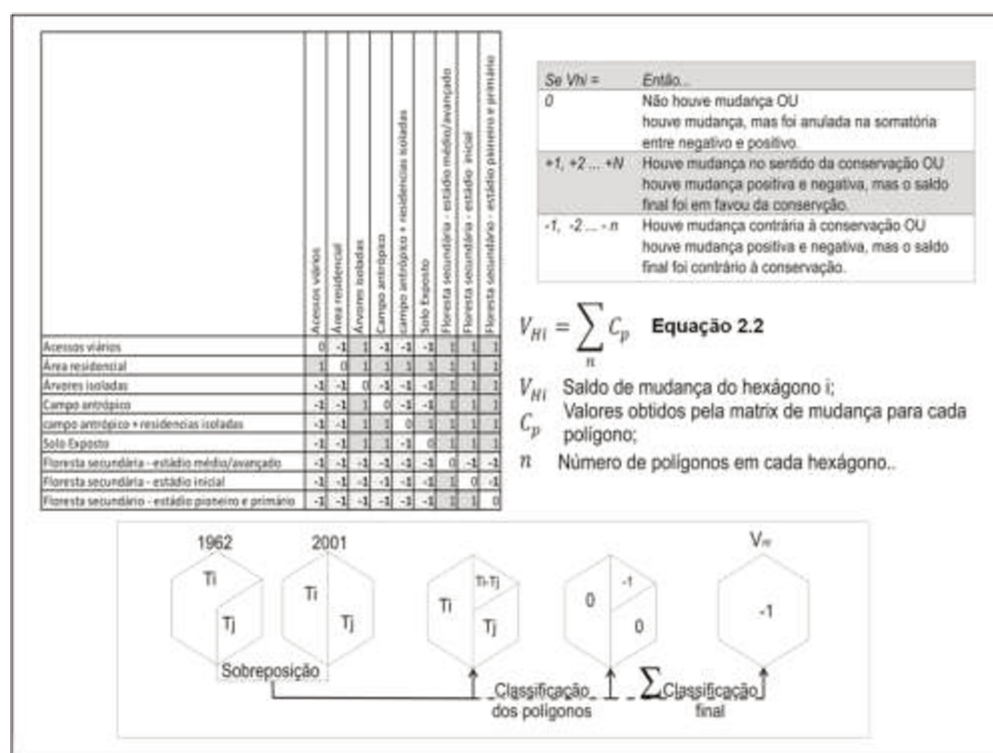


Figura 2.2. Esquema metodológico e aplicação (adaptado de BERTOLO *et al.*, 2009).

As informações sobre NPATCHES e V_{Hi} foram sobrepostas em um único mapa de forma a representar a heterogeneidade estrutural relacionada a diversidade de

mudanças de uso da terra em cada hexágono (no sentido da conservação com saldo positivo e no sentido da exploração com saldo negativo) e, por consequência, os vetores resultantes.

- (c) *A ação das forças motoras produzindo unidades territoriais em diferentes fases de evolução com diferentes vetores de mudança afetaram, também de forma diferenciada, o oferecimento dos serviços ecossistêmicos.*

Para compreender como as diferentes fases de evolução da paisagem e os seus vetores de mudança afetaram o oferecimento dos serviços ecossistêmicos foi desenvolvida uma metodologia baseada nas informações sobre valores em dólares desses serviços apresentadas no trabalho de COSTANZA *et al.* (1997). A partir deste trabalho, foram identificadas as fisionomias de larga escala naturais, semi-antrópicas¹¹ e antrópicas que poderiam ser relacionadas às classes de mapeamento usadas para este estudo de caso. Os serviços ecossistêmicos utilizados nesta etapa do trabalho foram selecionados de forma a possibilitar que todas as fisionomias/classes de mapeamento pudessem ser comparadas, ou seja, que não houvesse lacunas de valores para os serviços.

Como as classes de agrupamento arbóreo, vegetação em estágio primário de regeneração e vegetação em estágio secundário inicial não estão representadas nas tabelas descritas por COSTANZA *et al.* (1997), mas suas áreas são significativas para a descrição da evolução da paisagem, os seus valores foram calculados com base nas informações descritas por TABARELLI e MANTOVANI (1999). Estes autores descrevem o processo de regeneração da Floresta Tropical a partir das informações sobre velocidade de regeneração e das características florísticas de cada estágio de desenvolvimento da Floresta. Assim, foi possível descrever uma curva sucessional e compor uma equação (Figura 2.3) da qual se pode inferir sobre os valores dos serviços

¹¹ Por semi-antrópicas entende-se algumas formas de cultivos agrícolas que possibilitam a manutenção de vegetação nativa.

ecossistêmicos das classes de mapeamento ausentes no modelo de COSTANZA e colaboradores.

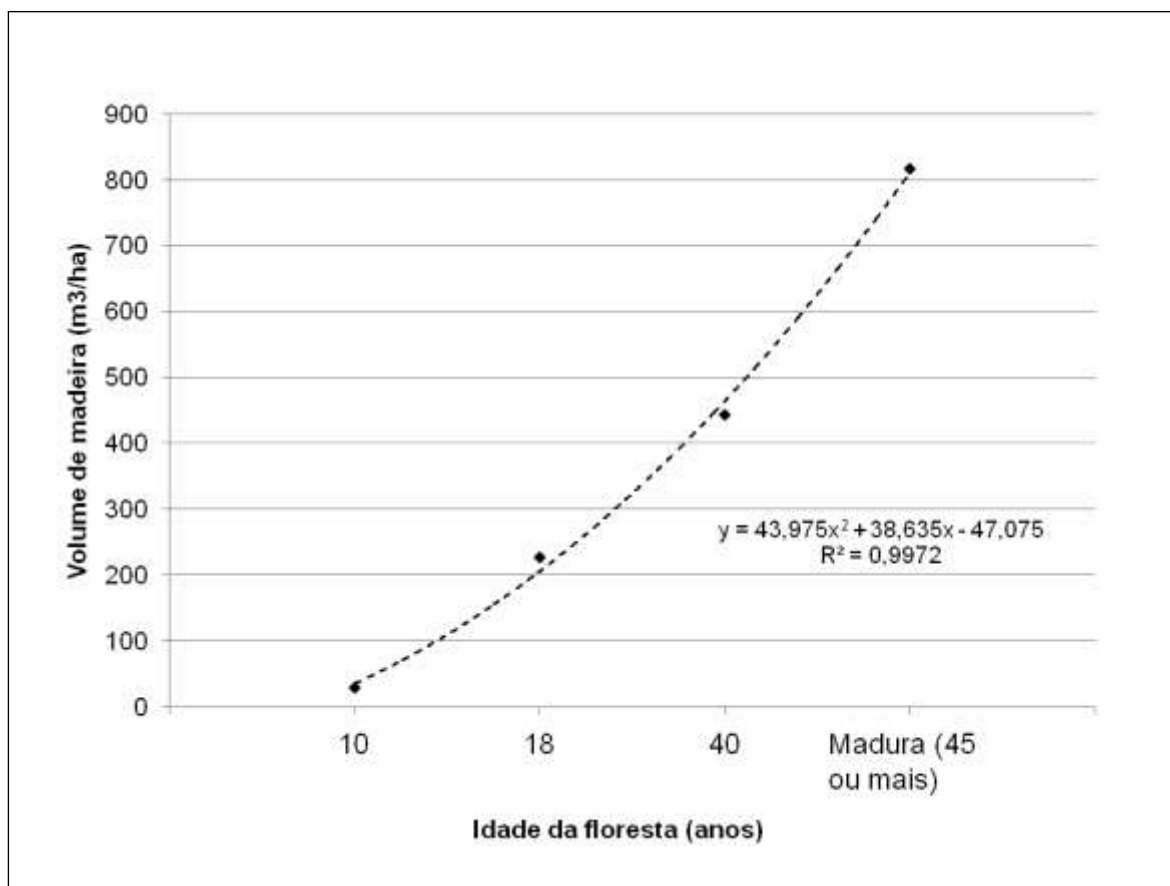


Figura 2.3. Equação da curva para definição dos valores dos serviços ecossistêmicos para as classes de agrupamento arbóreo, vegetação em estágio primário de regeneração e vegetação em estágio secundário inicial, baseada nas informações descritas por TABARELLI e MANTOVANI (1999)

Os valores e as classes de mapeamento utilizados nesta etapa do trabalho estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2. 2. Relações entre estruturas fisionômicas, classes de mapeamento e coeficientes de valor.

Classes de mapeamento (este estudo)	Estruturas fisionômicas em Costanza <i>et al.</i> (1997)	Valor atribuído ao conjunto de serviços (este estudo) (US\$ ^{**} . ha ⁻¹ . ano ⁻¹)	Serviços ecossistêmicos utilizados							
			Reg.climática	Reg. de água	Controle da erosão	Formação de solo	Decomposição	Produção de alimentos	Recursos genéticos	Recreação
Agrupamento Arbóreo	*	33 [#]	10	0	11	0	4	1	2	5
VE" primário	*	192 [#]	57	2	62	3	22	8	10	28
VE secundário inicial	*	432 [#]	128	3	140	6	50	18	23	64
VE secundário médio-tardio	Tropical forest	756	223	6	245	10	87	32	41	112
Campo antrópico # campo antrópico + residências isoladas	Grass/ rangelands	189	0	3	29	1	87	67	0	2
Residências isoladas	Urban	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aglomerado populacional	Urban	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistema viário	Urban	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solo exposto	Urban	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[#] valores calculados

* sem equivalência ao modelo de COSTANZA *et al.* (1997)

** valores em dólares adotados por COSTANZA *et al.* (1997),sem correção para 2011

"VE – floresta em estágio; Reg. - regulação

Para o cálculo da variação na oferta de serviços entre os anos de 1962 e 2001 foram utilizados como base as equações descritas pelos trabalhos de KREUTER *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2006; e ANDRADE (2010). Assim, para o ano de 1962, as áreas de cada classe de mapeamento foram multiplicadas pelos valores do conjunto de serviços por categoria de uso, conforme Equação 2.3:

$$VSE_K = A_K * VC_K \text{ (Equação 2.3)}$$

Onde:

VSE_k - Valor da classe k (US\$. ano⁻¹)

A_K – área total da classe k (ha)

VC_K – Valor do conjunto de serviços ecossistêmicos para a classe k (US\$. ha⁻¹. ano⁻¹)

Para obter o valor total de cada microbacia nas diferentes fases de evolução, para o ano de 1962, procedeu-se a somatória de todos os valores das classes obtidas com o cálculo da Equação 2.3.

Os mesmos procedimentos foram utilizados para o cálculo dos valores de cada um dos oito serviços ecossistêmicos descritos na Tabela 2.2, obtendo-se dessa forma os valores dos serviços para cada classe de mapeamento e, com o somatório, o valor total de cada serviço por microbacia.

Para o ano de 2001 o cálculo do valor de cada classe e de cada microbacia teve por base as informação obtidas a partir da técnica de tabulação cruzada para pares de imagens referentes aos mapas de classes de uso e ocupação da terra (SANTOS e SANTOS, 2008). A tabulação cruzada permitiu determinar com precisão a origem de cada classe de mapeamento presente no ano de 2001, tornando possível avaliar se a alteração de área de uma determinada classe se deu no sentido da conservação ou no sentido do uso. Nesse sentido, para se chegar ao valor de uma classe de mapeamento no ano de 2001 foi preciso levar em consideração: (a) a área da classe que permaneceu inalterada entre 1962 e 2001; (b) a(s) área(s) em 2001 que foi(ram) originada(s) a partir de classes em pior(es) estado(s) de conservação no ano de 1962 (saldo positivo); (c) a(s) área(s) em 2001 que foi(ram) originada(s) a partir de classes em melhor(es) estado(s) de conservação no ano de 1962 (saldo negativo). Assim, o cálculo do valor de cada classe no ano de 2001 foi realizado conforme descrito na Equação 2.4:

$$VSE_K = \{(A_K * VC_K) + [(\sum A_{i+}) * VC_K]\} - \sum (A_{i-} * VC_o) \text{ (Equação 2.4)}$$

Onde:

VSE_K – Valor da classe K (US\$. ano⁻¹)

A_K – área inalterada da classe K entre os anos de 1962 e 2001 (ha)

VC_K - valor da classe K, obtido da tabela 2.2 (US\$. ha⁻¹. ano⁻¹)

ΣA_{i+} – somatório das áreas i que apresentaram um saldo positivo em direção à classe K, conforme Figura 2.2, entre os anos de 1962 e 2001 (ha)

A_{i-} - áreas i que apresentaram um saldo negativo em direção à classe K, conforme Figura 2.2, entre os 1962 e 2001 (ha)

VC_o - valor da classe original (Tabela 2.2) (US\$. ha⁻¹. ano⁻¹)

A mesma Equação (2.4) foi utilizada para o cálculo dos valores de cada um dos oito serviços ecossistêmicos apresentados na Tabela 2.2, substituindo-se o valor total do conjunto pelo valor de cada serviço. Com o somatório de todos os valores das classes obteve-se o valor total de cada microbacia nas diferentes fases de evolução para o ano de 2001. O mesmo procedimento foi feito para o cálculo final do valor de cada um dos oito serviços ecossistêmicos estudados. Também foram calculados os valores dos serviços ecossistêmicos por hectare por classe de mapeamento a partir da divisão dos resultados obtidos com a Equação 2.4 pela área de cada classe no ano de 2001. O resultado assim obtido possibilitou a avaliação das mudanças da paisagem que causaram alterações na oferta de serviços ecossistêmicos, por meio da comparação entre o valor da classe de mapeamento obtido por esse cálculo e os valores do conjunto de serviços apresentados na Tabela 2.2.

A partir dos valores obtidos com estes cálculos foram elaborados gráficos que permitiram a comparação e avaliação da oferta dos oitos serviços ecossistêmicos nas cinco fases de evolução da paisagem.

2.3. Resultados e discussão

O capítulo anterior evidenciou que desde o final do século XIX a paisagem da Ilha de São Sebastião se configurava em um complexo mosaico de fragmentação e impactos consolidados, concentrados abaixo dos limites do Parque Estadual de Ilhabela (PEIb). Essa configuração da paisagem causada, principalmente, pela ação diferenciada das forças motoras (Figura 2.4), foi explicada pela topografia acidentada e por algumas decisões governamentais que possibilitaram que mais de 90% da área da Ilha ainda apresentasse vegetação natural em bom estado de conservação até o início do século XXI.

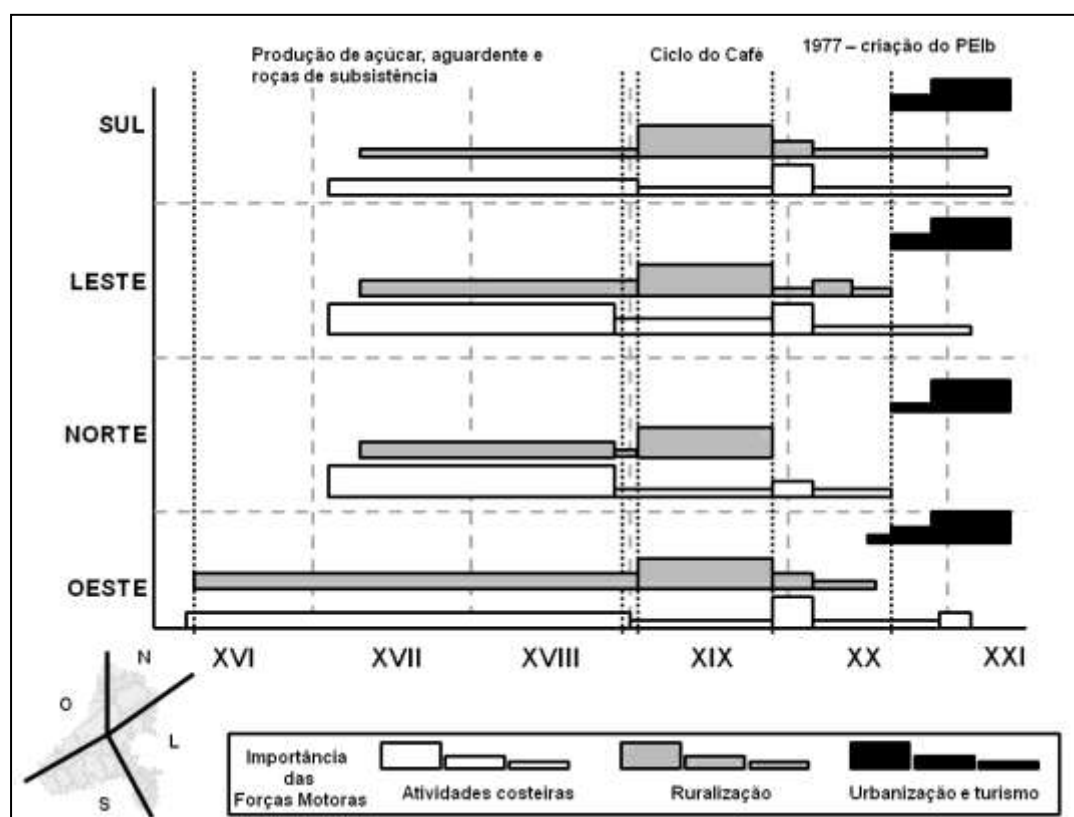


Figura 2.4. Atuação das forças motoras na Ilha de São Sebastião. N, O, S e L – setores com linhas próprias de evolução da ocupação.

A partir das informações sobre a atuação das forças motoras na Ilha de São Sebastião e da análise das imagens de satélite entre os anos de 1987 e 2001¹² foi possível observar que a maior parte da floresta regenerada e em estágio secundário médio-tardio, especialmente dentro dos limites do Parque, foi proveniente da recuperação de áreas de vegetação em estágio secundário inicial que vinha sendo explorada pelo homem desde a segunda metade do século XX. Fora do Parque, o crescimento da área urbanizada ocorreu preferencialmente sobre os fragmentos florestais de vegetação em estágio primário e secundário inicial (Figura 2.5), especialmente na região da Ilha voltada para o Canal.

¹² Este estudo foi publicado em: Bertolo, 2009; Bertolo *et al.*, 2010.

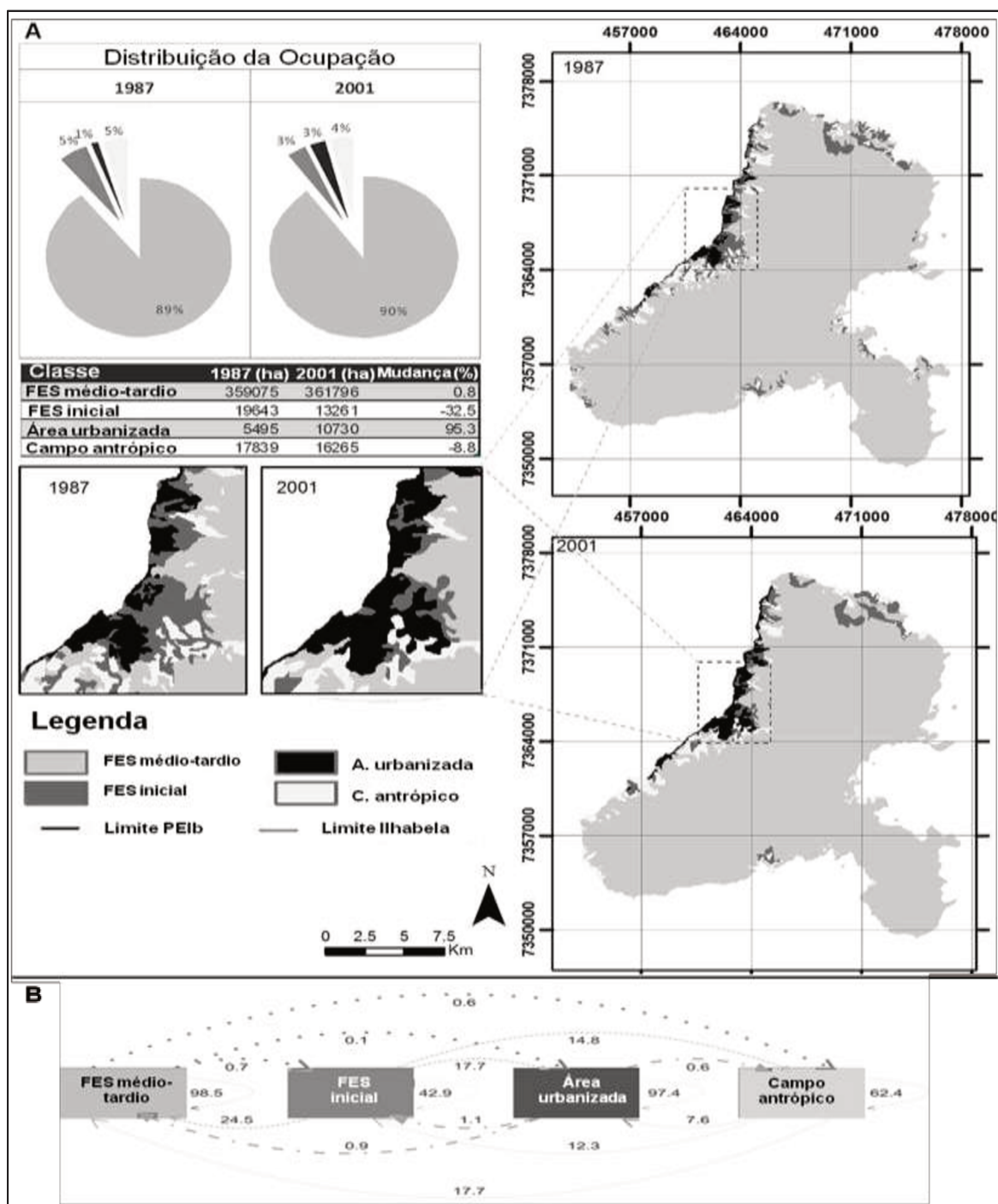


Figura 2.5. A. Distribuição das classes mapeadas, apresentando em detalhe as mudanças em um trecho da Ilha. **B.** Fluxos de mudanças obtidos pela tabulação cruzada entre classes de uso da terra e cobertura vegetal entre 1987 e 2001. FES: floresta em estágio secundário; A.: área; C. campo.

Com isso, foi possível observar que os eixos indutores de transformação da paisagem no sentido da recuperação (positiva) ou da urbanização (negativa), entre os

anos de 1987 e 2001, formavam um gradiente de conservação que poderia ser categorizado segundo a dominância tipológica e a origem da atual distribuição espacial das classes mapeadas. Dessa forma, definiram-se cinco fases de estado de evolução da paisagem que representam o padrão das interferências humanas nas 61 microbacias hidrográficas presentes em toda a Ilha (Figura 2.6).

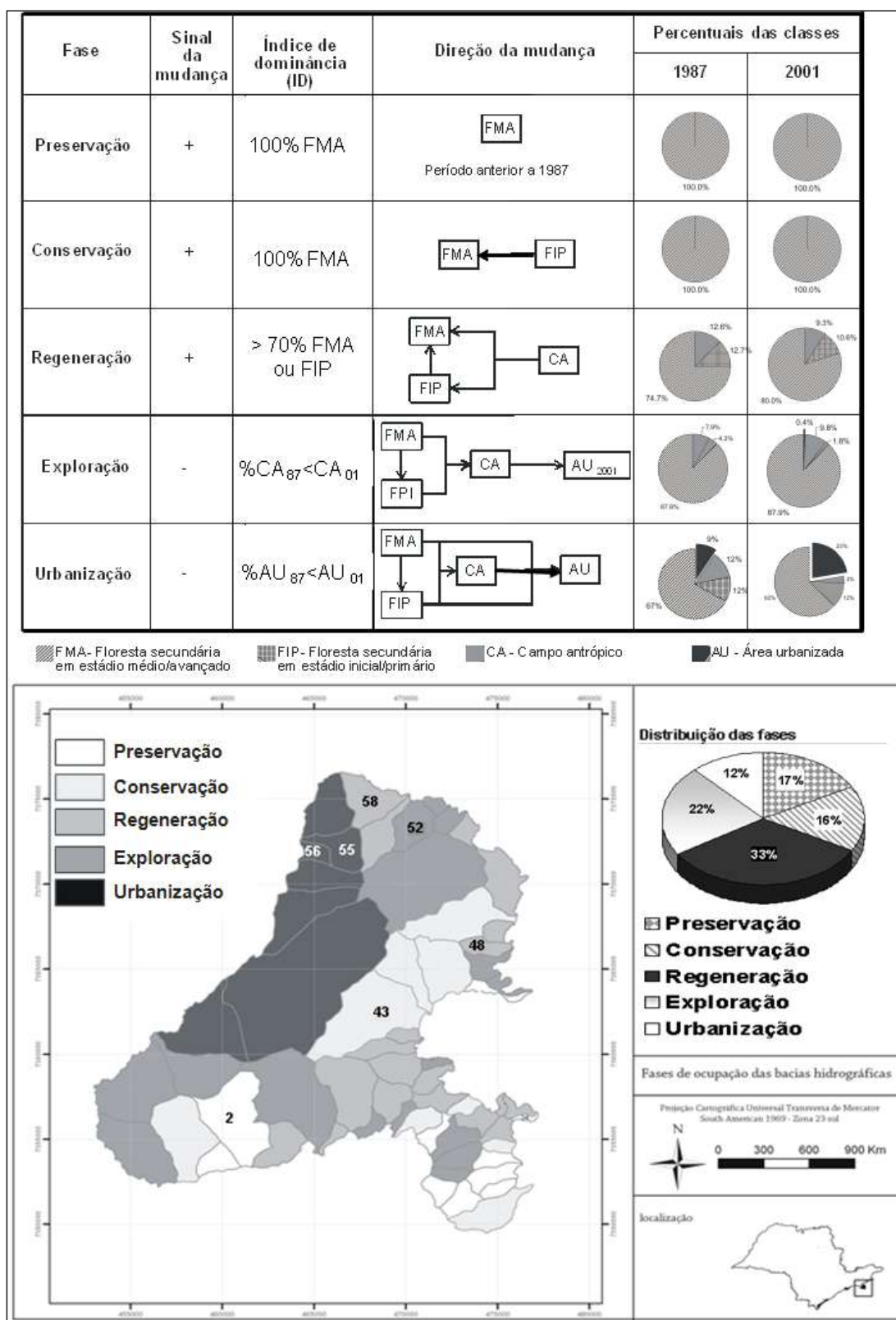


Figura 2.6. Classificação das 61 microbacias da Ilha de São Sebastião em cinco fases de evolução da paisagem. Em destaque os números das microbacias que foram analisadas.

A distribuição espacial das fases de evolução em toda a Ilha corrobora com as conclusões feitas no Capítulo 1 deste estudo, o qual sustentava que ação diferenciada das forças motoras, a proximidade com o continente e a topografia acidentada foram fundamentais na distribuição do uso e da ocupação da terra até os dias atuais. Assim, com os resultados apresentados na Figura 2.6, foi possível observar que o primeiro eixo de desenvolvimento histórico da Ilha - localizado na região paralela ao Canal de São Sebastião (Figura 1 - Introdução) - mostrou-se formado por microbacias hidrográficas classificadas nas fases de exploração (22%) e de urbanização (12%), evidenciando a permanente tendência de sua ocupação. Foi nessa região que as forças motoras descritas no capítulo anterior e na Figura 2.4 apresentaram sua maior importância na configuração da paisagem desde o início da ocupação da Ilha, o que corrobora com a ocorrência de todas as microbacias na fase de urbanização dessa área. Foi também constatado um padrão de crescimento da urbanização a partir de uma área central e ao longo de vias de acesso. Esse padrão de ocupação já foi reconhecido por outros autores, como XIAO *et al.* (2006) para a China e FRONDONI *et al.* (2011) para região costeira da Itália. Ao Norte e ao Sul da Ilha, a mescla de microbacias nas fases de exploração, regeneração e conservação confirmam a tendência de uso destas regiões pela expansão das vias de acesso.

De forma geral, nas 61 microbacias hidrográficas, a fase mais frequente foi a de regeneração (33%), indicando que a recuperação da floresta está acontecendo, principalmente nas microbacias de menor tamanho e de relevo acidentado. Outros 17%, na fase de conservação, foram pouco alterados e somente 16% das microbacias hidrográficas se encaixam na fase de preservação, ou seja, sem indícios de alterações pela ação humana ao longo de sua história.

Foi possível também observar que o sucesso da recuperação da vegetação esteve atrelado não somente a ação das forças motoras e às restrições ambientais, mas também à criação do Parque Estadual de Ilhabela no ano de 1977. A criação do Parque possibilitou a manutenção da vegetação natural dentro dos seus limites e catalisou a recuperação da vegetação das cotas mais altas para as mais baixas.

A avaliação pormenorizada das microbacias, tanto em escala generalizada quanto de maior detalhe, permitiu apontar que há, pelo menos, quatro processos ligados às características físicas, vetores de mudança e serviços ecossistêmicos que podem ser diretamente relacionados às diferentes fases de evolução, conforme descritos a seguir.

(a) As mudanças encontradas nas microbacias são produtos das características físicas e da localização geográfica na Ilha

Pela Figura 2.7 foi possível constatar que as microbacias localizadas no setor Leste, mais distantes do continente e, portanto, de acesso mais difícil foram as que apresentaram uma melhor qualidade ambiental, sendo quase que totalmente compostas por microbacias em fases de preservação, conservação e regeneração.

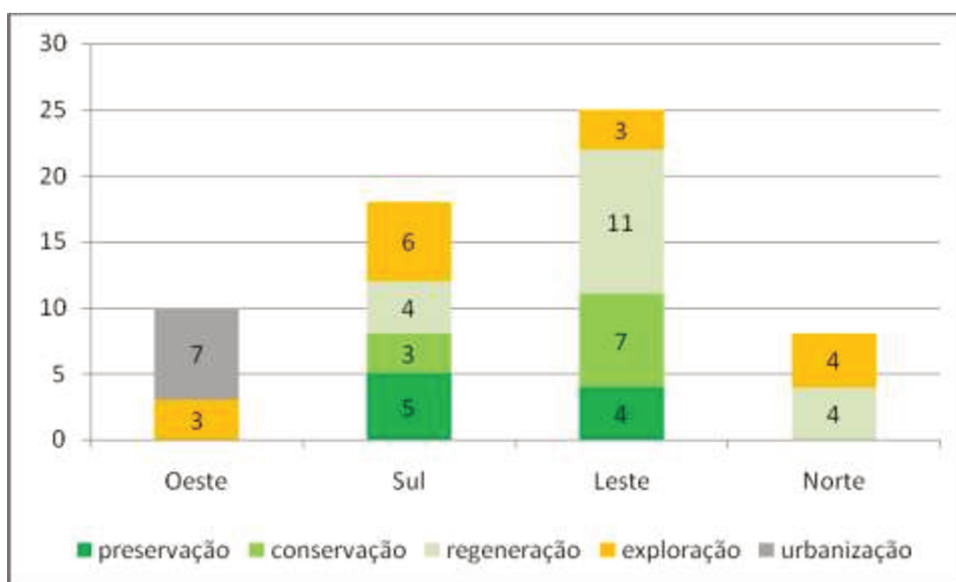


Figura 2.7. Distribuição das microbacias da Ilha de São Sebastião em diferentes fases de evolução nos quatro setores denominados neste estudo como Norte, Sul, Leste e Oeste.

O oposto pode ser observado no setor Oeste onde o conjunto de ações antrópicas ao longo do tempo permitiu o agrupamento de unidades fisiograficamente

distintas, mas que poderiam ser reunidas em uma mesma fase de evolução, urbanização.

As diferenças de fases de evolução relacionadas à localização geográfica podem ser exemplificadas pelas duas maiores microbacias da Ilha: Perequê e Castelhanos (Figura 2.8).

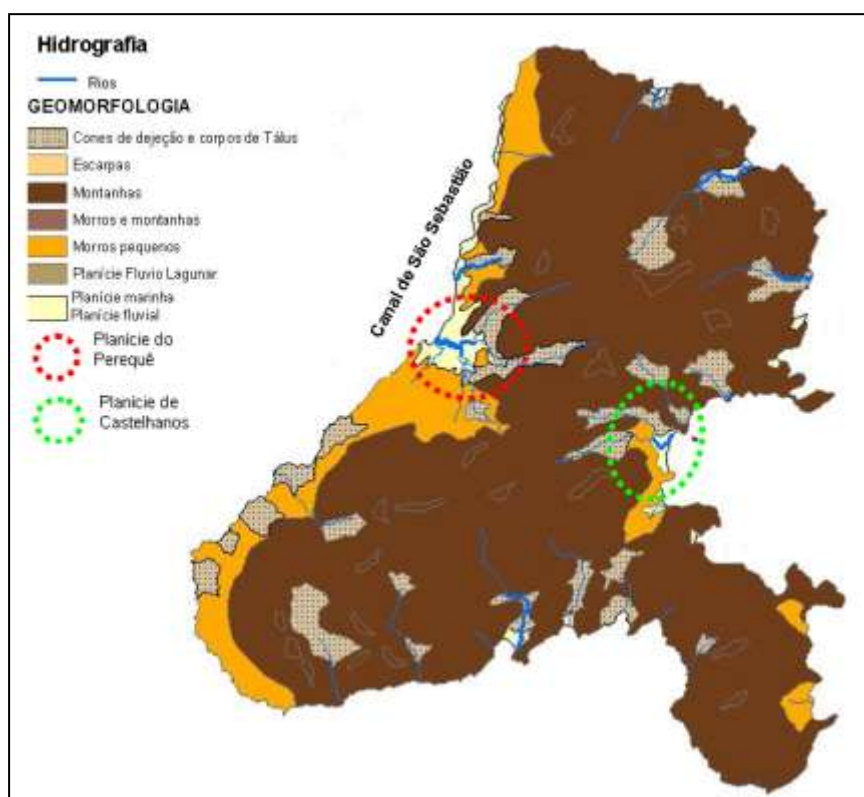


Figura 2.8. Localização das planícies. (Adaptado de FBDS, 2004).

Nessas duas regiões, as características do relevo favoreceram de forma muito semelhante a ocupação e o desenvolvimento de cultivos agrícolas, mas a localização geográfica Planície do Perequê fez com que a trajetória de evolução dessa paisagem ocorresse no sentido do desenvolvimento urbano, enquanto que no lado o oposto da Ilha foi possível a conservação da vegetação natural.

Outra característica que influenciou na diferenciação das microbacias e proporcionou a ocupação desigual do ecótono costeiro foram os tipos de costa

encontrados na Ilha de São Sebastião. Esta ocupação diferenciada pode ser observada nas microbacias nas fases de regeneração e exploração identificadas na Figura 2.6 pelos números 58 e 52, respectivamente. Ambas as microbacias estão localizadas na região Norte da Ilha, apresentaram as mesmas influências de forças motoras ao longo dos séculos (Figura 2.4) e são igualmente acessíveis por via terrestre. No entanto, enquanto o tipo de costa da microbacia de regeneração é quase que totalmente formada por blocos e matacões, na de exploração há a presença predominante de praia arenosa. Essa diferença pode ter sido fundamental na determinação dos distintos usos e mudanças passadas por estas microbacias ao longo da história.

Em síntese, podemos concluir que, além da atuação das forças motoras, a localização geográfica das microbacias e as características geomorfológicas/geológicas da costa foram determinantes no estabelecimento dos aglomerados populacionais e, co-responsáveis pela distribuição das cinco fases de evolução da paisagem na Ilha de São Sebastião.

(b) As microbacias sob mesma influência de forças motoras, mas em diferentes fases de evolução da paisagem, apresentam distintos fluxos e vetores de mudança

A presença de distintos fluxos e vetores de mudança nas microbacias em diferentes estados de evolução da paisagem foi evidenciada pelas medidas comparadas entre os saldos de conservação e vetores de mudança, obtidos a partir de quatro microbacias hidrográficas analisadas em escala de maior detalhe e entre os anos de 1962 e 2001 (Figuras 2.9 e 2.10).

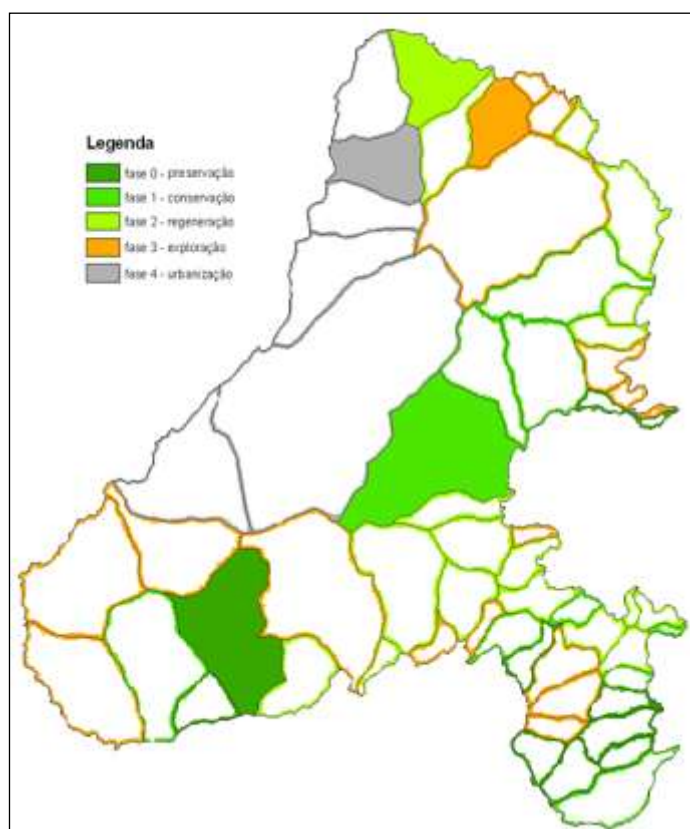


Figura 2.9. Microbacias hidrográficas em cinco fases de evolução da paisagem selecionadas para avaliação detalhada

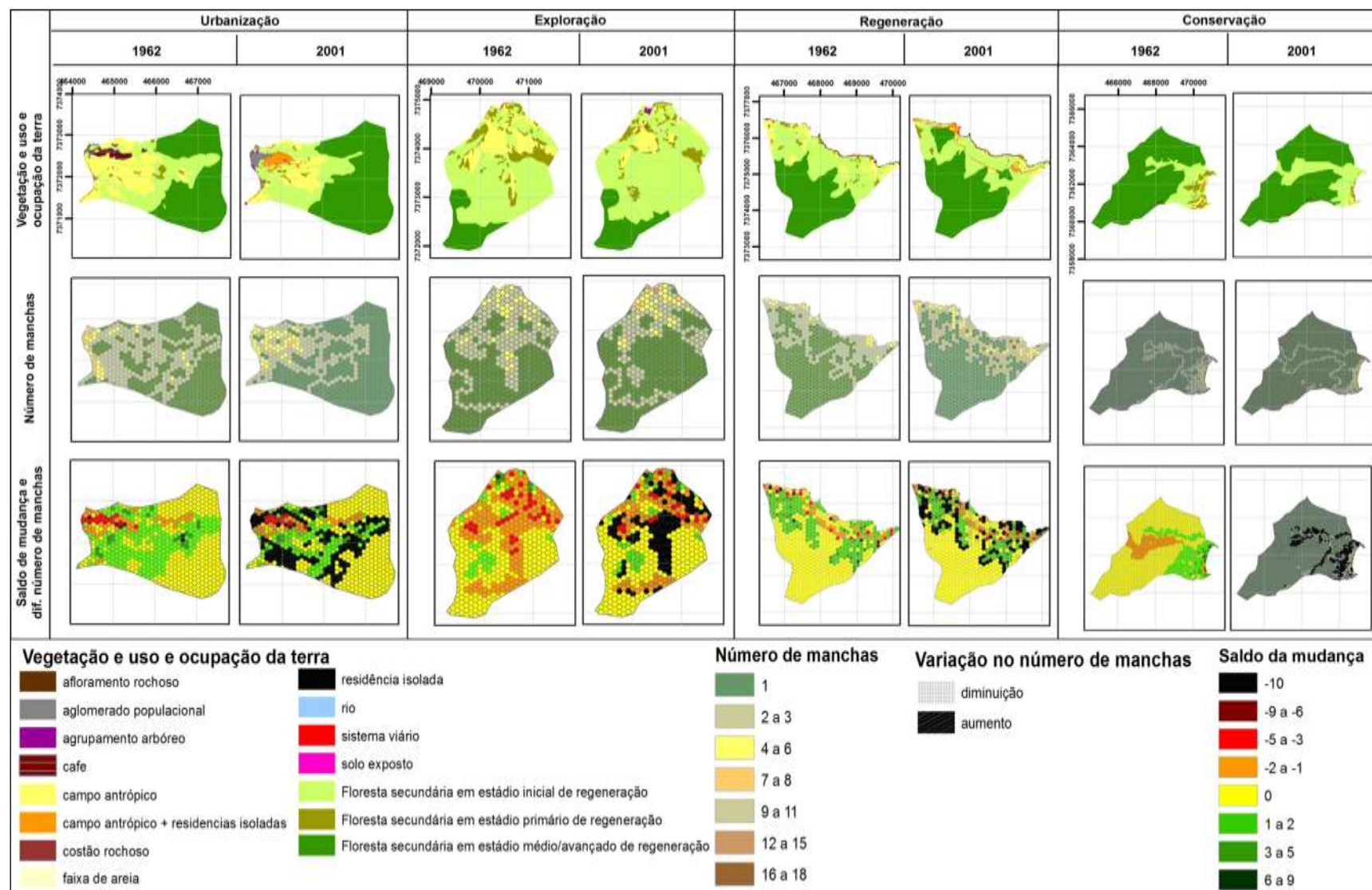


Figura 2.10. Mapeamento da vegetação e uso e ocupação da terra, número de manchas, saldo da conservação e vetores de mudança nas bacias hidrográficas em quatro fases de evolução.

Foi possível observar que nas microbacias nas fases de conservação, regeneração e urbanização as mudanças orientadas por corredores, sejam naturais ou antrópicos, foram importantes na orientação dos fluxos e vetores de mudança. Nas microbacias qualificadas como de melhor qualidade ambiental (conservação e regeneração), a orientação dos fluxos de mudança se deu em paralelo ao corredor antrópico (estrada). Apesar disso, as mudanças nessas duas microbacias específicas apresentaram intensidades de complexidade estrutural (representadas pelo aumento no número de manchas e de saldo negativo) diferentes, pois enquanto na microbacia de conservação os impactos da estrada se restringiram à diminuição da qualidade da floresta, na microbacia de regeneração, o aumento do número de manchas e de saldo negativo pode ser explicado pelo aumento de usos diferenciados (residências, vias de acesso e campo antrópico) desenvolvidos ao longo da estrada dentro do período estudado.

Na microbacia de urbanização, a consolidação do núcleo populacional ao longo da história promoveu, dentro do período de estudo, o desenvolvimento de um vetor de mudança orientado pelo eixo do rio, subindo as cotas altimétricas até o limite do Parque.

Nessas três microbacias, o fluxo de mudança no sentido da conservação ambiental se deu pela recuperação da vegetação natural (representada pela diminuição do número de manchas e pelo saldo positivo) das cotas mais altas para as mais baixas, corroborando, novamente, a importância da criação do Parque para a melhoria e manutenção da qualidade ambiental das microbacias.

Já o fluxo de mudança do tipo nuclear observado na microbacia na fase de exploração pode ser considerado como típico de áreas costeiras, uma vez que a área focal das mudanças se deu na região próxima a orla. Vetores de mudança orientados a partir de uma região nuclear localizada próxima a região da orla também foram encontrados nas microbacias nas fases de conservação e de urbanização, no entanto em extensão (números de hexágonos) e complexidade estrutural (número de manchas e de saldo negativo) diferentes nas três microbacias. Essa gradação de intensidade de mudança acompanha a sequência das fases, sendo menos extensa na microbacia de

conservação, progressivamente aumentando de extensão e de complexidade até a fase de urbanização (Figura 2.10).

Os tipos horizontais de crescimento urbano irradiados a partir de uma área *core* e orientados pelas rotas de transporte já foram descritas em diferentes cidades do mundo (ANTROP, 2000; SOLON, 2009; WENG, 2007) e, segundo FRONDONI *et al.* (2011), o crescimento da urbanização sobre áreas agrícolas, abandonadas e de vegetação natural pode ser facilitado pelas vias de acesso, levando à perda da qualidade ambiental. Nesse sentido, a presença no PEIb possibilitando a recuperação da vegetação das cotas mais altas para as mais baixas por meio da restrição do desenvolvimento de vias de acesso e da ocupação irregular foi fundamental para a manutenção da qualidade ambiental em todas as microbacias analisadas, mas principalmente na microbacia de conservação.

(c) As microbacias apresentam processos distintos de fragmentação, dependentes do seu estágio de evolução

As orientações dos diferentes fluxos e vetores de mudança nas microbacias hidrográficas acabaram resultando em distintos padrões e processos de fragmentação de cada paisagem. Assim, foi possível identificar dois tipos de processos de transformação da paisagem nas microbacias: a dissecação e a perfuração. Estes processos, descritos por FORMAN (1995), são responsáveis pela diminuição de habitats e da conectividade entre manchas, pela perda da biodiversidade da fauna e da flora e, em alguns casos, pela degradação da qualidade da água de rios.

Os fluxos orientados pelos corredores antrópicos nas microbacias de conservação e regeneração evidenciam o tipo de processo de dissecação, que é um tipo de transformação que subdivide a paisagem em duas áreas. A intensidade desse processo pode ser medida pela restrição à movimentação das espécies, uma vez que o corredor se transforma em uma barreira aos fluxos. Nesse sentido, a intensidade do processo de dissecação encontrada na microbacia de regeneração deve ser maior do que a encontrada na microbacia de conservação, uma vez que foi possível observar

uma maior complexidade estrutural da paisagem. Apesar disso, as potenciais conseqüências da dissecação na microbacia de conservação podem levar a impactos mais severos do que os observados na outra microbacia, pois a orientação do processo segundo a estrada também se dá paralelo ao rio do Engenho. Em outras palavras, as ações humanas indutoras de impactos ambientais podem causar um impacto cumulativo e sinérgico uma vez que as alterações ao longo da estrada podem intensificar processos erosivos, de assoreamento e até de perda da qualidade da água no rio.

O outro processo de transformação da paisagem encontrado nas microbacias foi o de perfuração. Este processo se caracteriza pela abertura de clareiras ou outros usos dentro de um fragmento de vegetação. Junto com o processo de dissecação, é um dos primeiros processos transformadores da paisagem (Forman, 1995). Esse processo corresponde aos fluxos de mudança a partir de uma região nuclear e que foram observados nas microbacias de conservação, exploração e urbanização. Da mesma forma como descrito para os fluxos, os processos nestas microbacias também apresentaram uma gradação, sendo iniciais na microbacia de conservação, evoluindo até a microbacia de urbanização.

(d) A disponibilidade e a oferta de serviços ecossistêmicos respondem as divergências estruturais e funcionais observadas nas diferentes fases de evolução

A Tabela 2.3 apresenta os resultados do cálculo dos valores dos serviços ecossistêmicos por classe de mapeamento e o valor total para as quatro microbacias em estudo, nos anos de 1962 e 2001¹³.

¹³ A fim de que os valores apresentados na Tabela 2.3 pudessem ser comparáveis aos valores descritos no trabalho de COSTANZA *et al.* (1997) optou-se por utilizar as mesmas cotações do dólar apresentados no referido trabalho.

Tabela 2. 3. Valores dos serviços ecossistêmicos para as classes de mapeamento nas diferentes fases de evolução da paisagem. Cons: conservação; Reg – regeneração; Exp – exploração; Urb – urbanização

	Cons 1962 (U\$.ano ⁻¹)	Cons 2001 (U\$.ano ⁻¹)	Reg 1962 (U\$.ano ⁻¹)	Reg 2001 (U\$.ano ⁻¹)	Exp 1962 (U\$.ano ⁻¹)	Exp 2001 (U\$.ano ⁻¹)	Urb 1962 (U\$.ano ⁻¹)	Urb 2001 (U\$.ano ⁻¹)
VE*secundário médio-tardio	1.067.472,00	1.054.630,10	212.058,00	260.513,90	46.720,80	54.148,80	214.099,20	264.083,30
VE secundário inicial	130.680,00	9.370,00	105.753,60	91.840,70	114.652,80	134.860,70	68.299,20	61.273,40
VE primário	17.126,40	2.183,50	3.244,80	118,80	10.540,80	1.431,60	1.920,00	910,90
Ag** Arbóreo	49,50	30,90	26,40	-38,10	0,00	-404,90	9,90	-44,30
Campo antrópico	7.200,90	1.631,80	10.867,50	-1.963,10	15.138,90	5.470,10	28.142,10	12.089,00
Valor total	1.222.528,80	1.067.846,30	331.950,30	350.472,20	187.053,30	195.506,30	312.470,40	338.312,30

*VE – vegetação natural em estágio sucessional; ** Ag. – agrupamento

Por essa tabela foi possível observar que houve uma grande variação entre os valores dos serviços ecossistêmicos para as classes de mapeamento, nos anos de 1962 e 2001. Isso indicou que as alterações estruturais da paisagem das microbacias causaram variações na oferta de serviços ecossistêmicos em todas as microbacias.

Quais foram as mudanças da paisagem que causaram o aumento ou a diminuição da oferta de serviços em cada microbacia? Como exemplifica a Figura 2.11, os resultados da tabulação cruzada permitiram evidenciar os tipos e os sentidos (positivo e negativo) de mudanças que ocorreram ao longo do tempo. A aplicação dos valores de referência de COSTANZA *et al.* (1997) a esses dados (cf. Equação 2.4) permitiu relacionar as perdas e os ganhos de serviços entre as classes (Figura 2.12).

Valor de referência	Classes	Campo antrópico	Custão rochoso	VE primário	VES inicial	Campo + residências	Faixa de areia	Residências isoladas	VES médio-tardio	Ag. Arbóreo	Área em 2001 (ha)	
189,00	Campo antrópico	32,13	0	1,52	0,72	0	0	0	0	0	34,37	Mudança positiva
192,00	VE primário	12,50	0	15,74	9,21	0	0	0	0	0	37,45	
432,00	VES inicial	34,76	0	36,88	242,92	0	0,03	0,04	1,82	0	316,45	
756,00	VES médio-tardio	0	0	0	11,66	0	0	0	59,97	0	71,63	Mudança negativa
33,00	Ag. Arbóreo	0,07	0	0,51	0,73	0,17	0	0	0	0	1,40	Sem Mudança
0,00	Outras classes	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	Área em 1962 (ha)	80,13	0,57	54,92	265,43	0,18	0,90	0,04	61,70	0,00	464	Área total da microbacia (ha)
$VSE_K = \{(A_K * VC_K) + [(\sum A_{i+}) * VC_K]\} - \sum (A_{i-} * VC_o) \text{ (Equação 2.4)}$												
Cálculo para a Vegetação em estágio secundário médio-tardio												
$VSE_{VESMT} = [(59,97 * 756,00) + (11,66 * 756,00)] - \sum (A_{i-} * VC_o)$												
$VSE_{VESMT} = 54.148,80 / 71,63 \text{ (área da classe em 2001)}$												
$VSE_{VESMT} = 756,00 \text{ -----> (valor da classe/ha)}$												
Cálculo para a Vegetação em estágio primário												
$VSE_{VES pri} = [(15,74 * 192,00) + (12,50 * 192,00)] - (9,21 * 432,00)$												
$VSE_{VES pri} = 1.431,60 / 37,45 \text{ (área da classe em 2001)}$												
$VSE_{VES pri} = 38,20 \text{ -----> (valor da classe/ha)}$												

Figura 2.11. Exemplo do produto da tabulação cruzada para a microbacia de exploração e o cálculo do valor das classes por hectare.

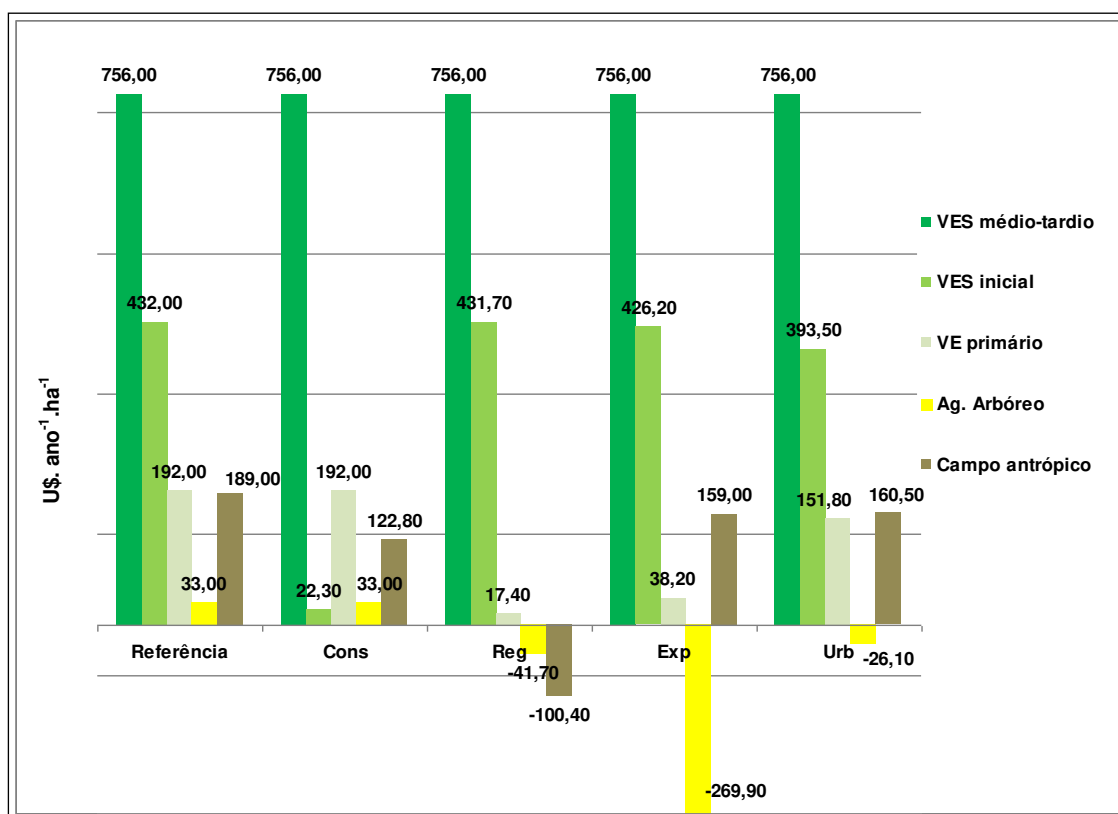


Figura 2.12. Valores das classes de mapeamento nas microbacias nas cinco fases de evolução da paisagem a partir do cálculo da tabulação cruzada entre as ano de 1962 e 2001. VES: vegetação natural em diferentes estádios sucessionais; Ag.: agrupamento; Cons: conservação; Reg: regulação; Exp: exploração; Urb: urbanização; Referência: dados obtidos pela Tabela 2.2 (conjunto de serviços).

Pela Figura 2.12 foi possível concluir que os valores das classes das microbacias abaixo dos valores de referência indicaram a perda de qualidade da vegetação que existia em 1962 e, conseqüentemente, a degradação da oferta de serviços ecossistêmicos.

Para a microbacia de conservação, os baixos valores encontrados para as classes de vegetação em estágio secundário inicial e campo antrópico são produtos da perda de vegetação em estádios mais avançados de desenvolvimento existentes no ano de 1962. Esses resultados corroboram com os dados apresentados para os vetores de mudança e para os processos de fragmentação da paisagem, comprovando que o aumento da complexidade da paisagem ao longo da estrada com a diminuição da qualidade da floresta (processo de dissecação) e na região da orla (processo de

perfuração) levou à diminuição do valor dessas classes e, conseqüentemente, a uma degradação na oferta dos serviços ecossistêmicos.

Nas microbacias de regeneração, exploração e urbanização, os valores negativos das classes de agrupamento arbóreo e menores em relação à referência de campo antrópico podem indicar o surgimento, o crescimento ou a mudança de classe de uma área florestada para estas categorias. Isso indicou que a mudança na estrutura da paisagem nessas três microbacias pode ter causado prejuízos à oferta de serviços ecossistêmicos.

Apesar dessas perdas, foi possível constatar que um simples aumento das classes de vegetação em estádios secundário médio-tardio e inicial (Tabela 2.3) causou um aumento substancial do valor total dos serviços ocorridos entre 1962 e 2001 nas microbacias nas fases de regeneração, exploração e urbanização. Isso indicou que o aumento da área da vegetação nesses estádios compensou, pelo menos em parte, a degradação na oferta de serviços causada pela mudança na estrutura da paisagem. Estes dados corroboram com ANDRADE (2009) que determinou que o valor dos serviços ecossistêmicos da área florestada é maior que o valor gerado para outros usos para a bacia do rio Mogi-Guaçu e Pardo, e com as conclusões de KREUTER *et al.* (2001) que observou que, como os tipos de uso urbano (como aglomerados populacionais e vias de acesso) não possuem valor, qualquer aumento na área de vegetação compensa as perdas de valores causadas pelos outros tipos de uso.

Para relativizar o comportamento dos valores totais dos serviços nas diferentes fases foram calculadas as distâncias das microbacias em relação ao melhor oferecimento possível dos serviços ecossistêmicos, tendo como referência os serviços oferecidos na microbacia em fase de preservação (valor 1) e o valor total das microbacias por hectare (Figura 2.13). Além disso, como forma de comparação entre os métodos dos serviços ecossistêmicos foram calculados os valores totais das microbacias para o ano de 2001 utilizando o mesmo método utilizado para o ano de 1962.

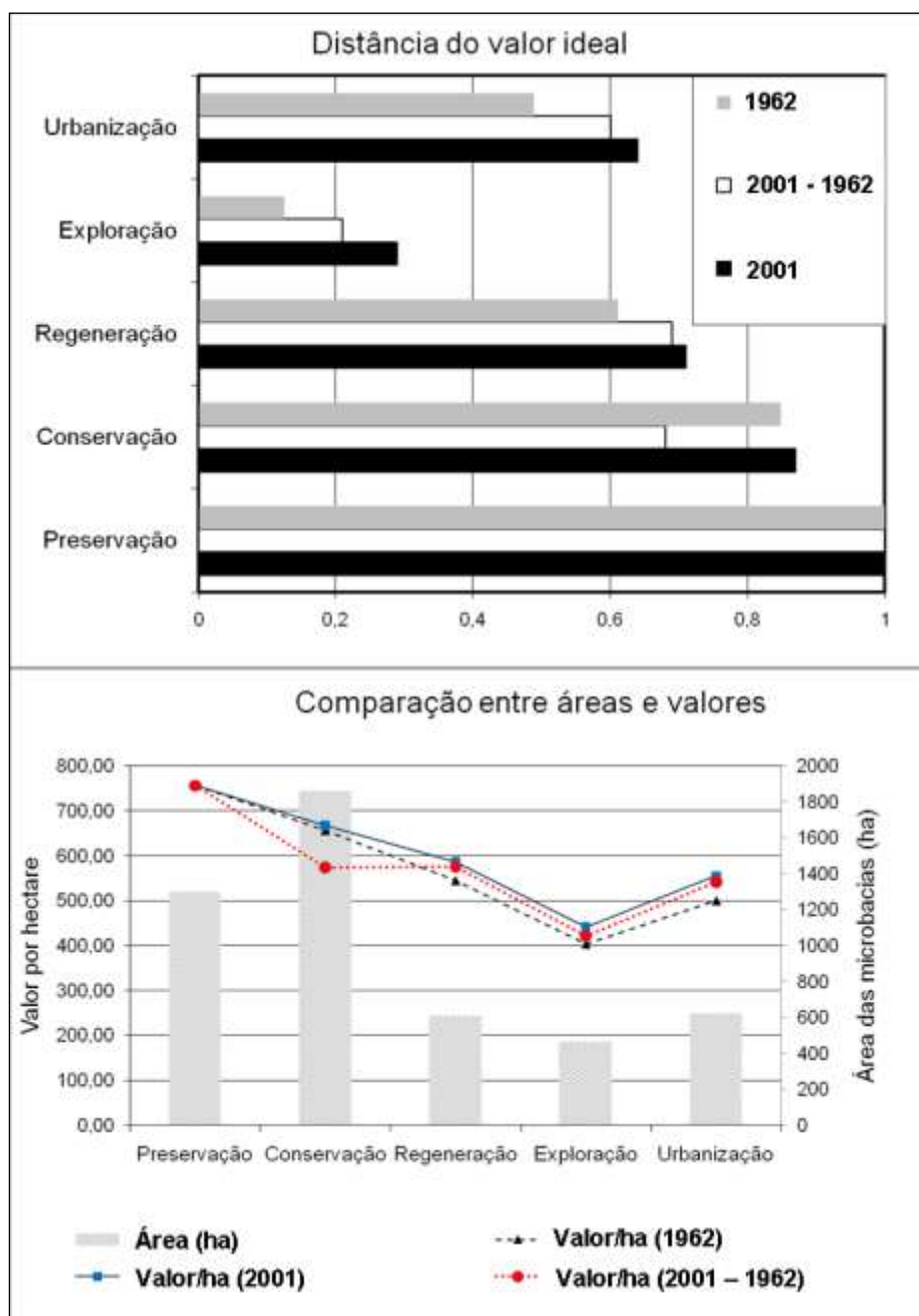


Figura 2.13. Distância do oferecimento dos serviços em relação ao cenário ideal (microbacia de preservação) e o valor dos serviços ecossistêmicos por hectare para cada fase. 2001-1962: valores obtidos pela tabulação cruzada.

Pela figura (2.13) foi possível observar que a microbacia de exploração foi a que apresentou a maior distância do ideal e o menor valor por hectare. Esses resultados podem indicar que essa microbacia apresenta uma maior degradação da

oferta de serviços ecossistêmicos se comparados às outras fases de evolução da paisagem. O baixo valor dessa fase pode ser explicado pela composição e estrutura da paisagem, pois: (a) a manutenção de grandes áreas da vegetação no estágio secundário inicial indica uma provável e persistente ação humana indutora de impactos sobre o meio e, conseqüentemente, sobre a oferta dos serviços; e (b) a menor área de vegetação secundária em estágio médio-tardio em relação a área total da microbacia, quando comparada às outras microbacias.

As mudanças estruturais da paisagem da microbacia de conservação, e que causaram a diminuição dos valores dos serviços ecossistêmicos das classes de mapeamento, tiveram reflexo no valor da microbacia e ficaram explícitas na maior distância e menor valor por hectare no método que utiliza a tabulação cruzada.

Os impactos das mudanças de uso da terra sobre a diminuição do valor de serviços ecossistêmicos para bacias hidrográficas já foram estudados por outros autores como ANDRADE (2009) que observou a perda de quase 50% do valor dos serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo devido ao aumento de pastagens e culturas anuais e por KREUTER *et al.* (2001) e WANG *et al.* (2006) que determinaram diminuição de valores de serviços causados pelo aumento de áreas urbanizadas e pela perda de áreas de vegetação natural. Não é o caso deste estudo, que evidencia na Ilha a recuperação natural da condição ambiental para a maior parte das microbacias hidrográficas.

A comparação entre as formas de cálculo também possibilitou concluir que medir as diversas expressões da mudança é uma forma muito mais próxima de avaliar as condições reais da paisagem do que simplesmente usar a interpretação da área coberta pelas classes de uso, como costumeiramente se faz em planejamentos ambientais públicos. Isso implica afirmar que os serviços presentes em uma determinada área no momento presente não são oferecidos (ou degradados) de forma proporcional ao aumento ou diminuição da área da classe a que estão relacionados. Dessa forma, as diferentes fases de evolução de uma paisagem, seus fluxos e vetores de mudança, e os seus processos de fragmentação afetariam de maneira específica à fase e de tendência não linear à oferta dos serviços (Figura 2.14).

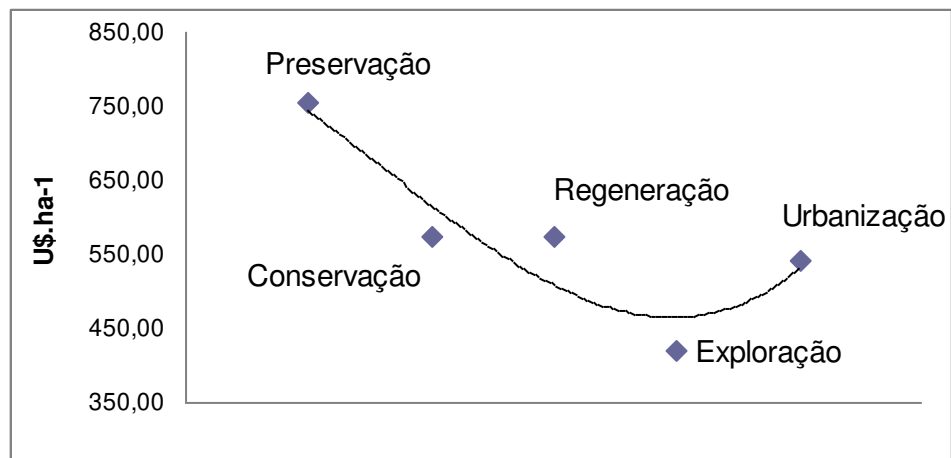


Figura 2.14. Possível tendência de variação na oferta de serviços ecossistêmicos nas diferentes fases de evolução histórica da paisagem.

Essas alterações de valores entre as fases de evolução das microbacias têm reflexos na valoração de cada um dos serviços ecossistêmicos, como pode ser observado na Figura 2.15.

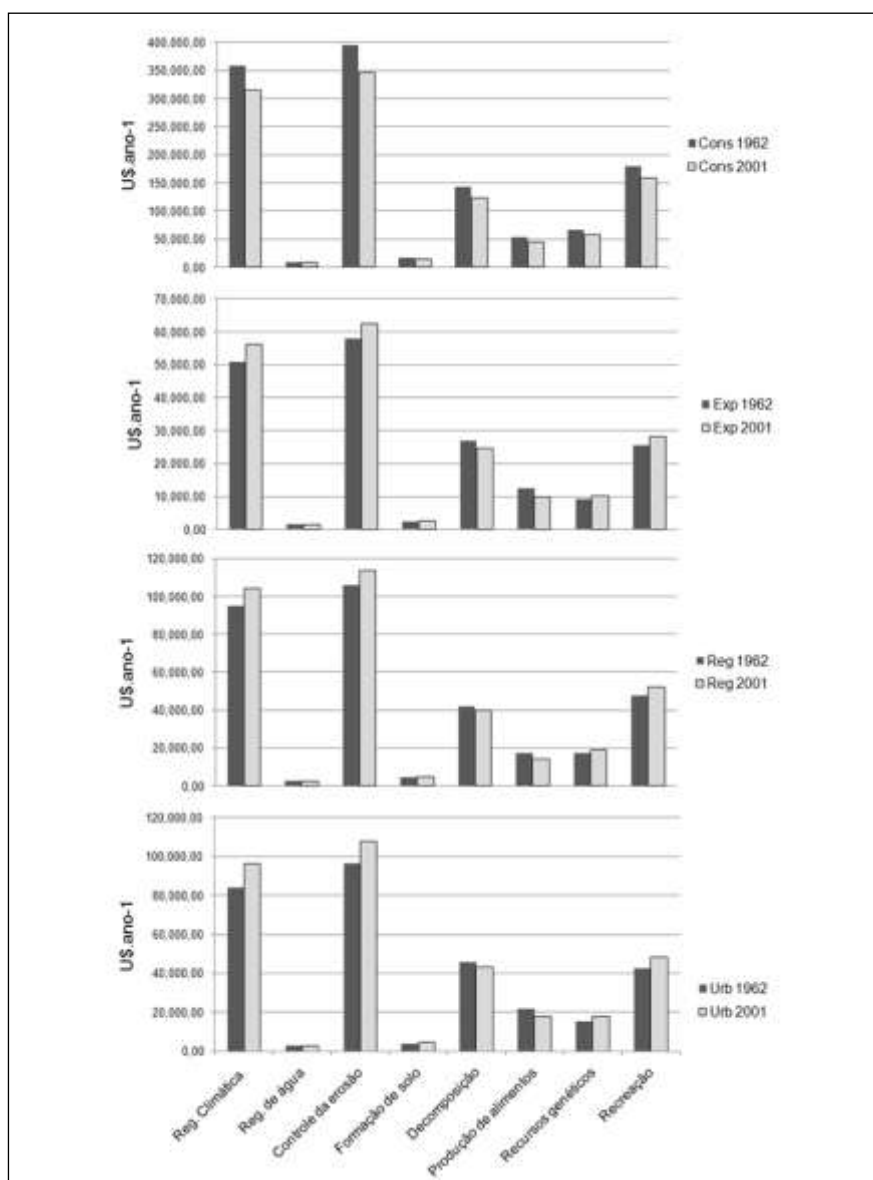


Figura 2.15. Valores dos serviços ecossistêmicos nos anos de 1962 e 2001 para as cinco fases de evolução histórica da paisagem. Cons: conservação; Reg: regeneração; Exp: exploração; Urb: urbanização; Reg: regulação.

Para a fase de conservação, houve uma diminuição do valor dos oito serviços ecossistêmicos analisados entre 1962 e 2001 (Tabela 2.3). Entre eles se destacam a diminuição na oferta dos serviços característicos de perda de vegetação em bom estado de conservação como o controle de erosão, a regulação climática, a decomposição e a recreação. Vale ressaltar que a diminuição do valor do serviço de

controle de erosão corrobora com análise feita para o processo inicial de dissecação identificado anteriormente para essa microbacia.

Para as outras fases, os serviços que apresentaram uma maior degradação de oferta foram decomposição e produção de alimentos, que estão relacionados às classes de campo antrópico. Além disso, para a fase de exploração houve também a degradação expressiva da oferta do serviço de regulação de água, quase três vezes menor de 1962 para 2001. Isso indicou mais uma vez que as alterações estruturais da paisagem na microbacia dessa fase causaram maiores prejuízos aos serviços ecossistêmicos.

Na China, WANG *et al.* (2006) utilizando os mesmos valores para o cálculo dos serviços ecossistêmicos observaram que o rápido crescimento populacional ocorrido a partir da década de 1980 resultou em severos danos ecológicos à Planície de Sanjiang causado, principalmente, pelo avanço da agricultura e áreas residenciais sobre as áreas úmidas (*wetlands*). Essas mudanças de uso da terra e o manejo agrícola inadequado resultaram em valores totais decrescentes para a região, sendo os serviços de decomposição, suprimento e regulação de água os que apresentaram as perdas mais significativas. No Brasil, o aumento das áreas de pastagens e culturas anuais sobre as áreas de APP e Reserva Legal na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo levou a uma diminuição no valor total dos serviços ecossistêmicos dessa área, sendo que o serviço de decomposição foi o que apresentou a maior redução de valor (ANDRADE, 2010).

É importante ressaltar que os valores dos serviços relacionados às classes de mapeamento apresentado neste trabalho, apesar de possibilitarem uma noção geral sobre a degradação ou não da oferta de serviços e a comparação com outros trabalhos, implicam na transferência de valores de serviços ecossistêmicos estimados para estruturas fisionômicas de larga escala e calculados de forma generalizada para todo o mundo. O ideal, como afirma ANDRADE (2009), é que fossem determinados coeficientes de valores específicos para a área de estudo, o que não foi o objetivo deste trabalho. Além disso, as variações nos valores e nos tipos de serviços devem servir apenas como uma referência para a comparação entre as fases e com outros trabalhos, pois na realidade a variação da oferta de serviços apresenta um comportamento

complexo e não-linear, o que necessitaria de um profundo conhecimento sobre o funcionamento das funções ecossistêmicas de cada ambiente.

Em síntese, é possível concluir que, apesar de toda a Ilha de São Sebastião estar sobre a influência das mesmas forças motoras, a sua expressão na paisagem resultou em diferentes fases de evolução e que cada uma delas expressa características específicas, as quais podem ser sumarizadas na Tabela 2.4.

Tabela 2. 4. Síntese das informações da análise da paisagem nas cinco fases de evolução.

	Preservação	Conservação	Regeneração	Exploração	Urbanização
Tipo de costa	Blocos e matacões	Praia arenosa	Blocos e matacões	Misto (praia arenosa e blocos e matacões)	Praia arenosa
Distância do continente	Intermediária a grande	Grande	Intermediária	Intermediária	Pequena
Fluxo de mudança	Inexistente	Orientado no sentido do corredor antrópico; área <i>core</i> próxima a orla	Orientado no sentido do corredor antrópico	Área <i>core</i> próxima a orla	Orientado no sentido do corredor natural; área <i>core</i> próxima a orla
Processo de fragmentação	Inexistente	Dissecação inicial; perfuração inicial	Dissecação	Perfuração	Perfuração
Principais serviços degradados	-	Controle de erosão; regulação climática; decomposição; recreação	Decomposição; produção de alimentos	Decomposição; produção de alimentos; regulação de água	Decomposição; produção de alimentos
Importância do PEIb para a manutenção da qualidade ambiental	Grande	Grande	Intermediária	Pequena	Grande

Todos estes fatores apresentados na Tabela 2.4, quando transformados em serviços ecossistêmicos, possibilitaram a comparação entre as microbacias nas diferentes fases de evolução, ainda que os valores utilizados para o cálculo dos serviços seja uma generalização. Dentro dessa premissa foi possível observar que há

uma gradação de fases e de mudanças estruturais da paisagem, que se refletiram nos valores dos serviços ecossistêmicos.

2.4. Conclusões

O estudo da atuação das forças motoras frente aos caminhos da mudança na Ilha de São Sebastião permitiu classificar as 61 microbacias em cinco fases de evolução da paisagem, determinadas pela localização geográfica em relação ao continente e o tipo de costa que, por sua vez, foram determinantes no estabelecimento das formas de uso e de ocupação do ecótono costeiro.

Em cada fase de evolução os fluxos e os vetores de mudança mostraram-se específicos, ora orientados por corredores naturais, ora por corredores antrópicos, ora a partir de uma área *core*. A expressão desses fluxos produziu distintos processos e intensidades de fragmentação da paisagem, os quais tiveram reflexo na valoração dos serviços ecossistêmicos. Desta forma, foi possível concluir que a fase de exploração foi a que apresentou a maior degradação da qualidade ambiental entre todas as fases de evolução, o que refletiu no baixo valor da microbacia em relação aos serviços ecossistêmicos. Além disso, este estudo ressalta a importância do Parque Estadual de Ilhabela na manutenção, na recuperação da vegetação natural e nos ganhos dos serviços ecossistêmicos na maior parte das microbacias hidrográficas estudadas.

Frente a estes resultados, seria de grande interesse estudar o comportamento das diferentes fases de evolução e relacioná-los a um tipo específico de serviço, o que possibilitaria entender, pelo menos em parte, a complexidade das relações entre a paisagem e a oferta de serviços ecossistêmicos no ecótono costeiro. No contexto da Ilha, provavelmente a análise dos serviços relacionados à água possibilitariam essa compreensão, uma vez que os rios representam um elo de ligação entre a terra e o mar.

De forma geral, a abordagem apresentada neste trabalho possibilita aos planejadores ambientais, em especial os de áreas costeiras, a identificação das bacias hidrográficas que necessitam de maior manejo, como a microbacia de exploração,

principalmente quando o objetivo do planejamento for evitar as perdas e aumentar os ganhos em termos de serviços ecossistêmicos.

2.5. Bibliografia

- ALVARES-AFONSO, R. M. Estudio y valoración del paisaje: territorio de Valderejo Santander. Cantabria: Universidad de Cantabria, 1990.
- ANDRADE, D.C. E ROMEIRO, A.R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, n. 159. ISSN 0103-9466. 2009.
- ANDRADE, Daniel Caixeta. Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos: uma contribuição da economia ecológica. Tese de Doutorado. Faculdade de Economia – IE. Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Campinas, 195p, 2010.
- ANTROP, M. Continuity and change in landscapes. In: Mander, Ü. and Antrop, M. eds. Multifunctional landscapes. Vol 3. Continuity and change. WIT, Southampton, 1-14. Advances in ecological sciences vol. 16. 2003a.
- BARBIER, E.B.; KOCH, E.; SILLIMAN, Brian R.; HACKER, Sally D.; WOLANSKI, Eric; PRIMAVERA, Jurgenne; GRANEK, Elise F.; POLASKY, Stephen; ASWANI, Shankar ; CRAMER, Lori A.; STOMS, David M.; KENNEDY, Chris J.; BAEL, David; KAPPEL, Carrie V.; PERILLO, Gerardo M. E.; REED, Denise J. Coastal Ecosystem-Based Management with Nonlinear Ecological Functions and Values. Science 319, 321. 2008.
- BERTOLO, L. S. Medidas de mudança espaço-temporal como fonte de identificação das linhas de evolução de uma paisagem costeira – Estudo de caso: Ilha de São Sebastião – SP. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC. Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Campinas, 195p, 2009.
- BERTOLO, L. S.; LIMA, G. T. N. P.; SANTOS, R. F. Spatiotemporal change indexes to identify the historical evolution in a coastal region – case study: São Sebastião Island– SP. Brazilian Journal of Oceanograph, 58, 37-47. 2010.
- BIRCH, C. P. D.; OOM, S. P.; BEECHAM, J. A. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. Ecological Modelling, v. 206, n. 3-4, p. 347-359, 2007.
- BÜRG, M.; HERSPERGER, A.M.; SCHNEEBERGER N. Driving forces of landscape change—current and new directions. Landscape Ecol 19:857–868. 2004.

- COSTANZA, Robert; D'ÁRGE, Ralph; GROOT, Rudolf; FARBER, Stephen; GRASSO, Monica; HANNON, Bruce; LIMBURG, Karin; NAEEM, Shahid; O'NEILL, Robert; PARUELO, Jose; RASKIN, Robert; SUTTON, Paul; VAN DEL BELT, Marjan. The value of the world's ecosystem services and Natural capital. In *NATURE*, Vol 387. May 1997.
- DE GROOT, R.S.; ALKAMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260-272. 2010.
- FBDS-FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.
Organização, manipulação e geração de dados georreferenciados e alfanuméricos para subsídio ao projeto de sustentabilidade socioambiental da PETROBRAS. 7 volumes. 2004.
- FORMAN, R. T. T. *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. New York: Cambridge University Press, 1995.
- FRANÇA, A. A Ilha de São Sebastião: estudo de geografia humana. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Boletim 178, Geografia n.10. 1954.
- FUJIHARA, M.; KIKUCHI, T. Changes in the landscape structure of the Nagara River Basin, central Japan. *Landscape and Urban Planning*, v.70, n.3-4, p.271-281, 2005.
- FRONDONI, R.; MOLLO, B.; CAPOTORTI, G. A landscape analysis of land cover change in the Municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001. *Landscape and Urban Planning* 100, 117–128. 2011.
- HUSTON, M.A. The three phases of land-use change: implications for biodiversity. *Ecological Applications*, 15 (6), 1864-1878. 2005.
- KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8: 468-479, 2005.
- KREUTER, Urs; HARRIS, H.G.; MATLOCK, M.D.; LACEY, R.E. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics*, 39, 333-346. 2001.
- LINDENMAYER, D.B., FISCHER, J., *Landscape Change and Habitat Fragmentation*. Island Press, Washington, DC. 2006.
- MATTEUCCI, S.D.; SILVA, M. Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de um território antropizado. *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 180-202. 2005.
- MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean & Coastal Management*, 46, 27-46. 2003.
- PATZ, J.A.; DASZAK, P.; TABOR GM, AGUIRRE AA, PEARL M, EPSTEIN J, et al. Unhealthy landscapes: policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environmental Health Perspectives* 112:1092–1098. 2004.

- REMPEL, R.; CARR, A.; ELKIE, P. Patch Analyst 2.2. Disponível em: <http://flash.lakeheadu.ca/~rempel/patch/download.html>, 1998.
- SANTOS, M. A.; SANTOS, R. F. Aplicación de índices de cambios para evaluación de las alteraciones en el uso de las tierras. Investigaciones Geográficas - Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, v. 42, p. 163-175, 2008.
- SCHENEEBERGER, Nina; BÜRGI, Matthias; HERSPERGER, Anna; EWALD, K.C. Driving forces and rates of landscape change as a promising combination for landscape change research – An application on the northern fringe of the Swiss Alps. Land Use Policy, 24, 349-361. 2007.
- SERRA, N.; CANESSA, P. O'HARA. R; KELLER, C.P; PELOT, R. Visualization of spatial patterns and temporal trends for aerial surveillance of illegal oil discharges in western Canadian marine waters. Marine Pollution Bulletin 56(5):825-833. 2008
- SHALABY, A., TATEISHI, R. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. Applied Geography, v. 27, p. 28–41, 2007.
- SCHINDLER, S.; POIRAZIDIS, K.; WRBKA, T. Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park, Greece. Ecological indicators, v.8, n. 5 p. 502 – 514, 2008.
- TABARELLI, M. MANTOVANI, W. A regeneração de uma floresta tropical Montana após corte e queima (São Paulo-Brasil). Revista Brasileira de Biologia, 59(2): 239-250. 1999.
- TANG, Q. S., SU, J. L., SUN, S., ZHAN, J., HUANG, D. J., JIN, X. S. A study of marine ecosystem dynamics in the coastal ocean of China. Adv. Earth Sci., 20 (12): 1288-1299. 2005. (em Chines com resumo em Inglês).
- TERRA, Talita N. Efeitos cumulativos e a construção de cenários em paisagens legalmente protegidas. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC. Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Campinas, 121p, 2010.
- VALVERDE, V.; MARTÍN, M.J.R.; CAMPOS, G.A.; PÉREZ, P.; MARTÍN DE ÁGAR, P.; PABLO, C.T.L.; Análisis de la estructura espacial del paisaje: mosaicos del paisaje. In Introducción al análisis espacial de datos em ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid. 2008
- VELLEND, Mark. Parallel Effects of Land-Use History on Species Diversity and Genetic Diversity of Forest Herbs. Ecology, Vol. 85, No. 11, 3043-3055. Nov., 2004.
- XIAO, J., SHEN, Y., GE, J., TATEISHI, R., TANG, C., LIANG, Y., HUANG, Z., 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by Using GIS and remote sensing. Landscape and urban planning, 75, 69-80.
- WANG, Z.M.; ZHANG, B.; ZHANG, S.Q.; LI, Z.Y.; LIU, D.W.; SONG, K.S.; LI, J.; DUAN, H. Changes of land use and of ecosystem services value in Sanjiang Plain, Northeast China. Environmental Monitoring and Assessment 112, 69-91. 2006.

WENG, Y. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. *Landscape and urban planning*, 81, 341-353. 2007.

WU, J. e HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landsc. Ecol* 17:355–365. 2002.

Capítulo 3

A oferta de serviços ecossistêmicos avaliada pela relação entre estrutura da paisagem e qualidade da água

3.1. Introdução

Desde a década de 1960, diversos trabalhos tentam identificar e medir a forma como a composição e a configuração espacial da paisagem se relacionam aos processos hidrológicos e à alteração da qualidade ambiental (GERGEL *et al.*, 2002; ALBERTI *et al.*, 2007; LEE *et al.*, 2009; AMIRI e NAKANE, 2009). De forma geral, os primeiros trabalhos realizados nessa área de conhecimento tinham por objetivo apontar os nexos entre as feições morfométricas presentes em bacias hidrográficas e os parâmetros de qualidade da água como turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura (ALLAN, *et al.*, 1997; SMITH *et al.*, 1999; HE *et al.* 2000; XUE *et al.*, 2004). Com o aumento do conhecimento sobre o funcionamento dos ecossistemas, buscou-se entender a dinâmica da paisagem e a sua relação com as fontes de poluição difusa. Mais recentemente, o avanço tecnológico, o uso de sensores remotos, SIGs e análises multivariadas permitiram o aprimoramento de modelos computacionais que exploram as relações entre a cobertura da terra e a ocorrência de sedimentos em suspensão, nutrientes, poluentes diversos, a fim de avaliar a integridade ecológica de sistemas

aquáticos (JOHNSON *et al.*, 1997; UUEMAA, *et al.*, 2005; LEE *et al.*, 2009; AMIRI e NAKANE, 2009; MARTINELLI *et al.*, 2010).

No contexto de uma bacia hidrográfica, esses interesses acadêmicos se baseiam no reconhecimento de que os fluxos de matéria e energia transportados pelos rios representam um importante elo através da paisagem (LEE *et al.*, 2009; MARTINELLI *et al.*, 2010). Ao longo do rio os elementos se combinam e variam em consequência dos diferentes e sucessivos tipos de uso da terra oriundos das atividades humanas, podendo resultar em alteração de processos naturais e impactos diretos sobre e a qualidade dos recursos hídricos, ou seja, ocorre um processo de mudanças contínuas a medida que as águas do rio avançam e, em dupla direção, entre terra e água (WEAR *et al.* 1998; LEE *et al.*, 2009; AMIRI e NAKANE, 2009). Essa observação é mais acentuada no caso de ambientes insulares, onde a proximidade com o mar cria elos mais diversificados e de maior amplitude.

Dentro dessa linha, a utilização dos conceitos de ecologia de paisagens tem possibilitado o aperfeiçoamento desses estudos, uma vez que eles permitem relacionar os distintos elementos que compõem uma paisagem, como uma bacia hidrográfica, por meio do estudo da sua estrutura, configuração, funções e mudanças ao longo do tempo. De forma usual, a interpretação desse conjunto de informações permite deduzir sobre a dinâmica da paisagem e isso é realizado por meio da comparação entre métricas ou índices. Nesse sentido, a inclusão dos parâmetros de qualidade da água no estudo comparativo das métricas da paisagem possibilitaria um melhor entendimento sobre os efeitos das ações humanas no fluxo de matéria e energia pelos rios e ecossistemas adjacentes, facilitando a elaboração de ações de manejo integrado de bacias hidrográficas. Os estudos em ecologia de paisagem que utilizam as métricas evidenciam, por exemplo, que os efeitos negativos da degradação de áreas naturais, representados pela perda de vegetação nativa, aumento do número de manchas e de densidade de fronteiras estão relacionados com o aumento da erosão do solo e da deterioração da qualidade da água (LEE *et al.*, 2009).

Uma vez que as bacias hidrográficas costumam estar em diferentes situações de cobertura por vegetação natural, que dependem do seu grau de evolução frente as pressões oriundas das forças motoras (BERTOLO *et al.*, 2010) é esperado

que as relações entre terra, rio e mar sejam distintas e específicas entre elas. No entanto, este estudo, qualificando ou não as fases de evolução da paisagem, não faz a ligação entre os indicadores de conservação e qualidade do meio obtidos pelas métricas e os serviços ecossistêmicos.

Os trabalhos que relacionam as mudanças de uso e cobertura da terra e oferta de serviços ecossistêmicos, o fazem por meio da utilização de valoração de serviços como regulação e suprimento de água, controle de erosão, entre outros, a partir da transferência de valores estimados em dólar para estruturas fisionômicas globais e de grande abrangência territorial (COSTANZA *et al.*, 1997; KREUTER *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2006; ANDRADE, 2010; URIARTE *et al.* 2010). Estes trabalhos, apesar de conseguirem identificar os prejuízos causados pelas mudanças de uso da terra, falham nas generalizações dos valores e no entendimento da maneira como essas mudanças interferem na qualidade dos sistemas aquáticos presentes na paisagem, pois não se prestam a identificar e medir indicadores das alterações dos serviços específicos ou previamente selecionados para a área alvo do estudo.

Considerando esses questionamentos, este estudo parte da hipótese de que microbacias hidrográficas que representam um gradiente de fases de evolução, desde um alto grau de conservação da floresta até intenso uso humano, apresentam uma correspondência direta com a estrutura da paisagem e a qualidade da água, que por sua vez podem ser traduzidas em serviços ecossistêmicos ligados aos recursos hídricos.

Dessa forma, o presente trabalho teve o objetivo de (i) comparar cinco microbacias hidrográficas que apresentam um gradiente de conservação quanto a composição e configuração da paisagem, (ii) analisar a qualidade da água nessas microbacias e relacioná-las às características da paisagem e (iii) determinar a influência da estrutura da paisagem e da qualidade da água na variação da oferta de três serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos diante do gradiente de evolução das paisagens avaliadas.

3.2. Material e Métodos

O delineamento metodológico foi desdobrado em três perguntas para explicitar a relação entre a composição e a configuração da paisagem com a qualidade da água de cinco microbacias hidrográficas da Ilha de São Sebastião (SP) em diferentes fases de evolução, inferindo essa relação sobre a oferta de serviços ecossistêmicos.

a) As cinco fases de evolução podem ser retratadas pelas métricas de composição e de configuração da paisagem?

Foram utilizadas duas imagens do satélite SPOT 5 de 2009, cedidas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), com resolução de 10 metros, que abrangem as quadrículas da área de estudo.

As imagens tiveram suas coordenadas corrigidas pelo sistema UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator) – Zona 23S e Datum SIRGAS 2000. O georreferenciamento das imagens foi realizado em SIG ArcGis versão 9.2, com base em 15 pontos de controle, tais como cruzamentos e curvas de estrada, entroncamento de rios e casas, distribuídos em toda a superfície mapeada. Após esta etapa, foi aplicada uma transformação de polinômio de 1ª ordem (*affline*), resultando em um erro RMS (*root mean square* – erro quadrático médio) obtendo-se o valor de 12 metros, que é aceito pela norma de exatidão cartográfica.

Os recortes das 61 microbacias hidrográficas nas imagens georreferenciadas foram realizados a partir dos *layers* de hidrografia e curvas de nível, identificando-se as cabeceiras ou nascentes e os cursos de águas principais, seus afluentes e subafluentes. Os rios foram hierarquizados conforme método Srahler, descrito em COELHO NETTO e AVELAR (2007).

O reconhecimento de campo, juntamente com os critérios de mapeamento do Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela, apresentado por BERTOLO e PAVÃO (comunicação pessoal), permitiu a definição da legenda, conforme Tabela 3.1. As fitofisionomias observadas foram classificadas em acordo com a classificação nacional

adotada pelo IBGE (VELOSO *et al.* 1991), identificando a classificação nos diferentes estágios de acordo com a Resolução CONAMA 10/93.

Tabela 3. 1. Legenda do mapa das microbacias hidrográficas, baseada em BERTOLO e PAVÃO (comunicação pessoal) e observações de campo.

Classes	
1	Aglomerado populacional
2	Aglomerado populacional associado a agrupamento arbóreo
3	Agrupamento arbóreo
4	Campo Antrópico
5	Campo e Savanas de Topo de Morro
6	Costão Rochoso
7	Eucalipto
8	Faixa de areia
9	Floresta Ombrófila Densa Alto Montana
10	Floresta Ombrófila Densa Alto Montana associada a Campos e savanas
11	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas associada a manguezais
12	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em estágio inicial de regeneração
13	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em estágio inicial de regeneração com remanescentes
14	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em estágio médio/avançado de regeneração
15	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em estágio pioneiro de regeneração
16	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em estágio primário de regeneração
17	Floresta Ombrófila Densa Montana em estágio inicial de regeneração
18	Floresta Ombrófila Densa Montana em estágio inicial de regeneração com remanescentes
19	Floresta Ombrófila Densa Montana em estágio médio e/ou avançado de regeneração
20	Floresta Ombrófila Densa Montana em estágio pioneiro de regeneração
21	Floresta Ombrófila Densa Montana em estágio primário de regeneração
22	Floresta Ombrófila Densa SubMontana em estágio inicial de regeneração
23	Floresta Ombrófila Densa SubMontana em estágio inicial de regeneração com remanescentes
24	Floresta Ombrófila Densa SubMontana em estágio médio/avançado de regeneração
25	Floresta Ombrófila Densa SubMontana em estágio pioneiro de regeneração
26	Floresta Ombrófila Densa SubMontana em estágio primário de regeneração
27	Residências isoladas
28	Residências isoladas associadas a agrupamento arbóreo
29	Residências isoladas associadas a campo antrópico
30	Cursos d'água
31	Sistema viário
32	Solo Exposto
33	Vegetação herbácea sobre afloramento rochoso
34	Zonação de praia às formações Arbóreas da FODTB

Os mapas resultantes foram interpretados segundo o estado de conservação e a disponibilidade de recursos naturais. Para tanto, foram selecionadas e aplicadas sobre esses mapas um conjunto de métricas presentes na extensão *Patch Analyst 4.0* do SIG ArcGis 9.2 (Tabela 3.2). As métricas da paisagem selecionadas para essa descrição foram as que apresentaram melhor relação com a qualidade da água, dentro da bibliografia pesquisada.

Tabela 3. 2. Métricas utilizadas para avaliação da paisagem.

Métricas da paisagem	Descrição
Índice de diversidade de Shannon (SDI)	Indica a diversidade de manchas da paisagem
Índice de equatividade de Shannon (SEI)	Índica a diversidade do tamanho das manchas
Número de manchas (NumP)	É o número total de manchas da paisagem
Tamanho médio das manchas (MPS)	É o tamanho médio das manchas da paisagem (hectares)
Densidade de fronteiras (ED)	É a quantidade de fronteiras em relação a paisagem. É o total de perímetro das manchas dividido pela área da paisagem (metros/hectare)
Total de fronteiras (TE)	É o total de perímetros das manchas da paisagem (metros)
Índice de forma média (MSI)	Mede a complexidade da forma das manchas da paisagem

Os valores das métricas foram comparados às características utilizadas para categorizar as microbacias hidrográficas nas cinco fases de evolução (Capítulo 2 e descritas em BERTOLO *et al.*, 2010), de forma a concluir sobre a provável linearidade dessas relações.

b) Como se comportam os parâmetros de qualidade da água nas cinco fases de evolução histórica da paisagem? Como eles podem ser utilizados para avaliar as alterações na oferta de serviços ecossistêmicos nas diferentes fases?

A seleção dos parâmetros de qualidade da água baseou-se em quatro critérios: (i) os parâmetros que poderiam ser relacionados as atividades antrópicas ao longo do ecótono e que, posteriormente, (ii) pudessem indicar alguma variação na oferta de serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos; (iii) que fossem contemplados em outros trabalhos científicos; e (iv) que se adequassem às limitações de tempo, condições de campo e laboratoriais. Os parâmetros, metodologias analíticas, relação com os serviços ecossistêmicos (aplicação), volumes amostrados e formas de preservação de amostra estão descritos na Tabela 3.3.

Tabela 3. 3. Variáveis, metodologias analíticas e aplicações.

Parâmetros	Metodologias analíticas	Bibliografias	Aplicação	Quantidade Coletada para análise	Preservação
Carbono Orgânico Total (COT)	Método da oxidação úmida (Método 5310 D)	APHA-AWWA-WEF, 1998	O carbono orgânico em água doce origina-se da matéria viva e também como componente de vários efluentes e resíduos. Assim, o carbono orgânico total na água é um indicador útil do grau de poluição do corpo hídrico. Através deste parâmetro poderá ser analisado o serviço de provisão de água (consumo), com a avaliação da exportação de matéria orgânica.	300mL em garrafa de vidro âmbar	Conservado com ácido fosfórico até pH<2, refrigerado até o momento da análise.
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	Digestão Kjeldahl e titrimetria (Método 4500-N _{org} B)	APHA-AWWA-WEF, 1998	O nitrogênio em excesso em corpos aquáticos naturais pode causar eutrofização e derivar dos despejos domésticos, excremento de animais ou o uso de fertilizantes. Assim, através da análise deste parâmetro poderão ser avaliados os serviços de provisão (consumo) e regulação da purificação (autodepuração) da água.	500mL em garrafa de plástico	Conservado com ácido sulfúrico até pH<2, refrigerado até o momento da análise.
Fósforo Total (P-total)	Método ácido ascórbico (Método 4500-P E)	APHA-AWWA-WEF, 1998	O fósforo, quando em excesso, pode levar a eutrofização dos corpos aquáticos, e assim como o nitrogênio, resulta de despejos domésticos ou fertilizantes. Ao analisar este parâmetro, os serviços de provisão de água (consumo) e alimentos (peixes), regulação da purificação (autodepuração) da água e de recreação e ecoturismo poderão ser avaliados.	500mL em garrafa de plástico	Conservado com ácido sulfúrico até pH<2, refrigerado até o momento da análise.
Turbidez (Turb)	Método nefelométrico (Método 2130 B)	APHA-AWWA-WEF, 1998	Alta turbidez das águas superficiais pode causar prejuízos à fotossíntese da vegetação aquática, o que, por sua vez, pode diminuir a produtividade em relação aos peixes. Nesse sentido, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, além de afetar adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água. Dessa forma, este parâmetro relaciona-se aos serviços de regulação para controle de erosão e da purificação (autodepuração) da água, provisão de alimento (peixes e consumo de água) e culturais de recreação e ecoturismo.	100mL em garrafa de plástico	Mantido no escuro a 4°C

Sólidos Totais (ST)	Gravimetria (Método 2540)	APHA-AWWA-WEF, 1998	O excesso de sólidos totais pode causar danos à vida aquática, além de poderem sedimentar no leito dos rios causando assoreamento. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia e conferir sabor às águas. Estão principalmente relacionados aos serviços de regulação como o controle de erosão e culturais de recreação e ecoturismo.	500mL em garrafa de plástico	Mantido no escuro a 4°C
Zinco (Zn)	Absorção atômica (Método 3111)	APHA-AWWA-WEF, 1998	O Zinco pode ser encontrado no meio ambiente tendo origem em processos naturais e antropogênicos, entre os quais se destacam a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos. Está relacionada aos serviços de regulação purificação, de provisão (consumo) de água e de recreação e ecoturismo.	1000mL em garrafa de vidro escuro	Conservado com ácido nítrico até pH<2, refrigerado até o momento da análise.
Condutividade (Cond)	Condutímetro (marca Micronal)		A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica e pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes. Dessa forma, a condutividade pode fornecer uma boa indicação das modificações na composição de uma água ao longo do ecótono. Está relacionada aos serviços de serviços de regulação purificação (autodepuração) e de provisão (consumo) de água.	100mL em garrafa de plástico	Mantido no escuro a 4°C

Foram selecionados os serviços ecossistêmicos incluídos em três das quatro categorias descritos pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (A.M.; 2005), conforme esquematizado na Figura 3.1. Para os parâmetros escolhidos foram definidas as questões que permitiriam interpretar e fornecer condições sobre a variação do oferecimento dos serviços.

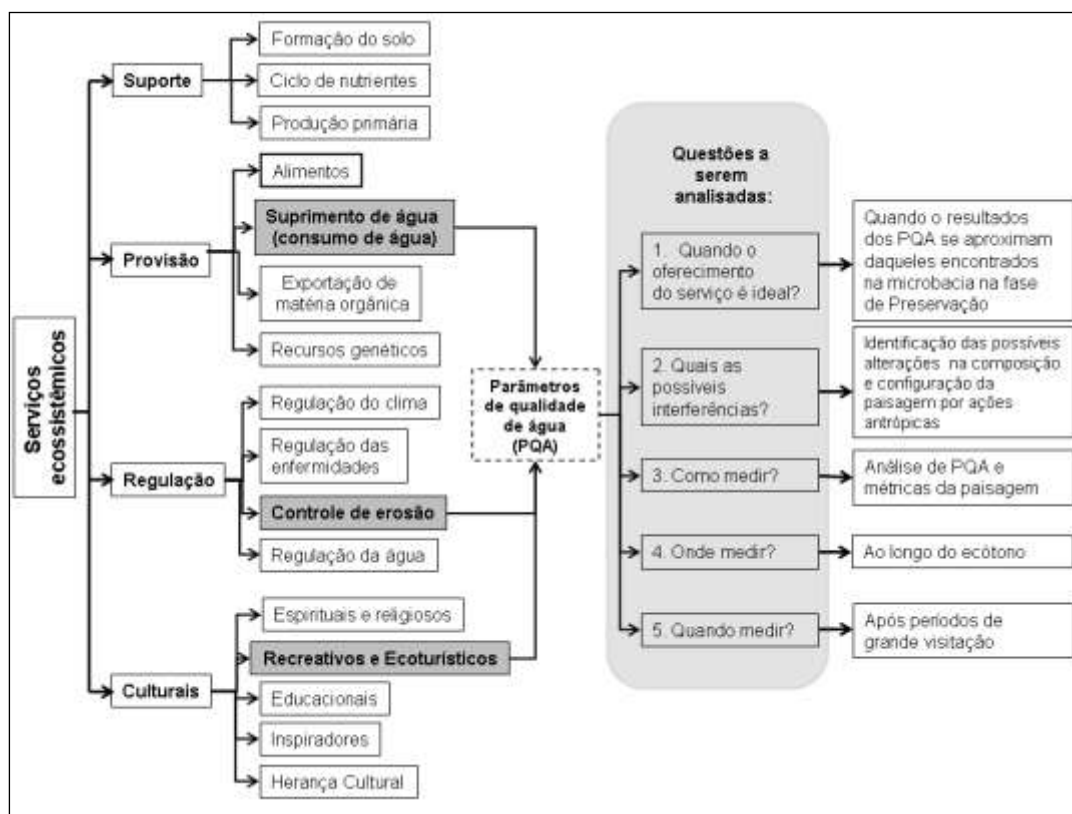


Figura 3. 1. Exemplo da utilização de parâmetros de qualidade da água (PQA) e sua realção com as métricas da paisagem e serviços ecossistêmicos.

Os pontos selecionados para coletas de água tiveram o propósito de associar as cinco fases de evolução histórica com os diferentes usos da paisagem ao longo do ecótono. Foram feitas 4 coletas, entre fevereiro e outubro de 2010, sempre posteriormente a um pico de visitação pública, de forma a possibilitar a avaliação dos possíveis efeitos da concentração de atividades humanas sobre os parâmetros físicos e químicos nos corpos aquáticos. A comprovação da maior visitação nos dias anteriores à coleta de água foi possível pela comparação entre os dados médios mensais de entrada de pessoas e veículos na Ilha e o valor acumulado de entrada nos três dias

anteriores à coleta, calculados a partir dos dados de travessia diários fornecidos pela DERSA. Os períodos amostrais selecionados foram: (1) fevereiro: representativo do período de veraneio; (2) junho: após o feriado prolongado de *Corpus Christ*; (3) agosto: final do período de férias escolares; (4) outubro: após feriado prolongado de Nossa Senhora Aparecida.

Foram selecionados 15 pontos de amostragem, sendo 3 por microbacia, preferencialmente no rio de maior ordem. A distribuição dos pontos de coleta está exemplificada na Figura 3.2, onde o primeiro ponto (a) está à montante de qualquer carga de lançamento de efluente; o segundo (b) a jusante do uso humano e antes da influência da água marinha; e o terceiro (c) na foz do rio, sob influência da água marinha.

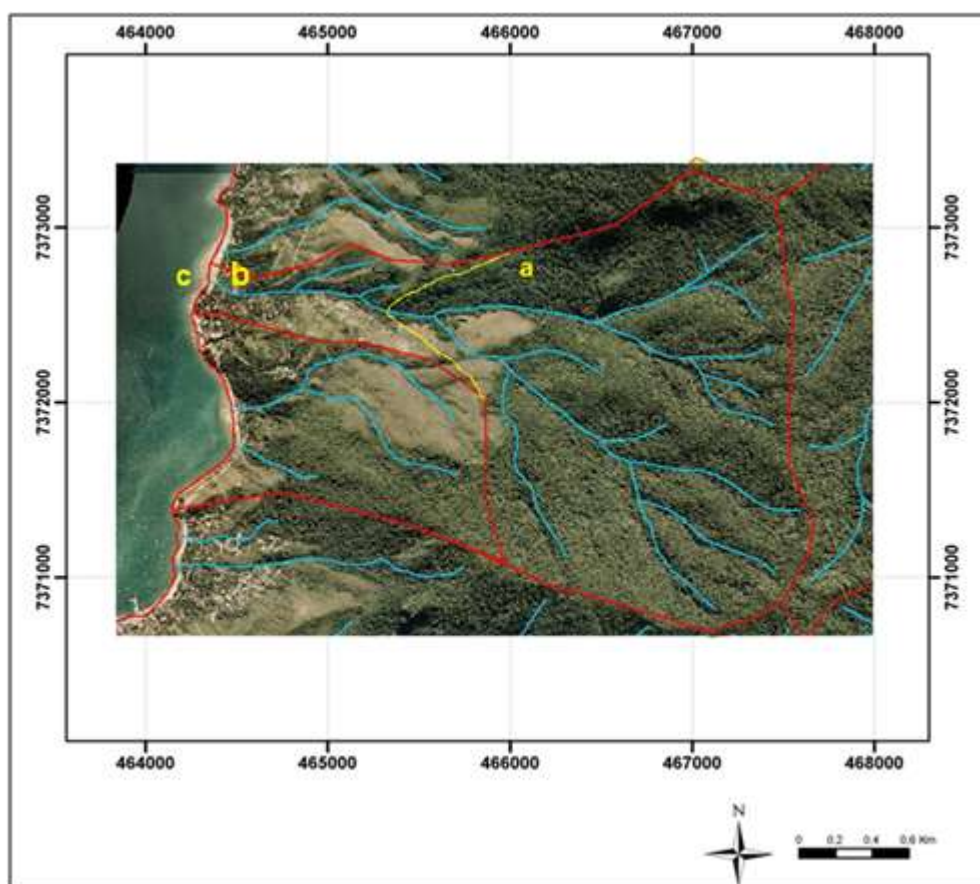


Figura 3. 2. Identificação dos pontos amostrais para coleta de água. A linha em amarelo indica a altura da cota de 100m e as letras indicam: a) ponto antes de qualquer lançamento de efluente; b) ponto após todas as modificações antrópicas ao longo do ecótono, mas sem a influência da água marinha; e c) ponto na foz do rio sob influência da água marinha.

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água foram analisados com relação: (i) ao período amostral e que incluiu uma avaliação da visita da Ilha ao longo dos anos de 2009 e 2010, e dos valores de pluviosidade acumulada para o ano de 2010; e (ii) com relação aos seus valores médios ao longo do ecótono. Para a segunda análise, foram retirados os valores mais discrepantes de cada ponto (*a*, *b* e *c*) ao longo do período amostral, de forma a determinar o menor coeficiente de variação para cada ponto.

Esta fase metodológica relacionou os valores dos parâmetros ao estado de manutenção ou degradação dos serviços ecossistêmicos para cada fase de evolução histórica.

c) Qual a influência da estrutura da paisagem e da qualidade da água na variação da oferta dos serviços ecossistêmicos sob um gradiente histórico de evolução da paisagem?

Para associar os dados obtidos nas etapas metodológicas anteriores foi aplicado um conjunto de passos estatísticos desenvolvido em parceria com o Prof. Dr. Sérgio Tadeu Meireles do Departamento de Ecologia da USP.

O primeiro passo foi reconhecer a qualidade dos parâmetros utilizados como indicadores de serviços ecossistêmicos de acordo com as respostas obtidas nos procedimentos anteriores e ponderá-los com valores arbitrários que respondessem a sua capacidade de representar as diferenças entre o ecótono e as fases de evolução da paisagem.

O segundo passo foi padronizar os valores médios dos parâmetros de qualidade da água entre 0 e 1, como descrito em LEGENDRE e LEGENDRE (1998). Para tanto, foi utilizada a Equação 3.1:

$$VP_{PQA} = \frac{(V_{PQA} - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

VP_{PQA} = valor padronizado do parâmetro de qualidade da água

V_{PQA} = valor médio do parâmetro de qualidade da água em um dos pontos de coleta (a, b ou c)

V_{min} = menor valor do parâmetro de qualidade da água entre todos os pontos de coleta (a, b ou c)

V_{max} = maior valor do parâmetro de qualidade da água entre todos os pontos de coleta (a, b ou c)

A partir desses valores e da ponderação atribuída aos parâmetros foi calculado o valor total das perdas dos serviços ecossistêmicos de acordo com a Equação 3.2:

$$SE_t = \sum VP_{PQA} \cdot PA \quad \text{Equação 3.2}$$

SE_t = degradação total de serviços ecossistêmicos

VP_{PQA} = valor padronizado do parâmetro de qualidade da água

PA = ponderação atribuída ao parâmetro

O mesmo procedimento foi adotado em relação às métricas.

O terceiro passo foi obter o conjunto de parâmetros de qualidade da água de maior representação em relação as fases de evolução das microbacias e seus pontos de coleta. Para tanto foi usado o método de Análise de Componentes Principais (ACP), a partir da matriz de covariância. Com os autovalores dos três principais eixos relacionados aos pontos de coleta nas diferentes fases de evolução das microbacias, que explicaram 83% da variação dos dados, foi feita uma média dos três pontos de coleta (a, b, c) de forma a obter apenas um valor por fase de evolução histórica. A esses autovalores médios, para cada fase de evolução, foi realizada uma nova padronização, como descrito no passo 1.

O quarto passo foi a construção da Matriz de Correlação de Pearson, utilizando os valores médios e padronizados de qualidade da água e os valores das métricas da paisagem.

A identificação das propriedades emergentes da relação entre a qualidade da água e métricas da paisagem foi obtida: (a) a partir dos resultados da correlação

significativa ($p < 0,05$) entre métricas e qualidade da água e (b) da distribuição dos parâmetros de qualidade da água nos três principais eixos da ACP (Figura 3.3).

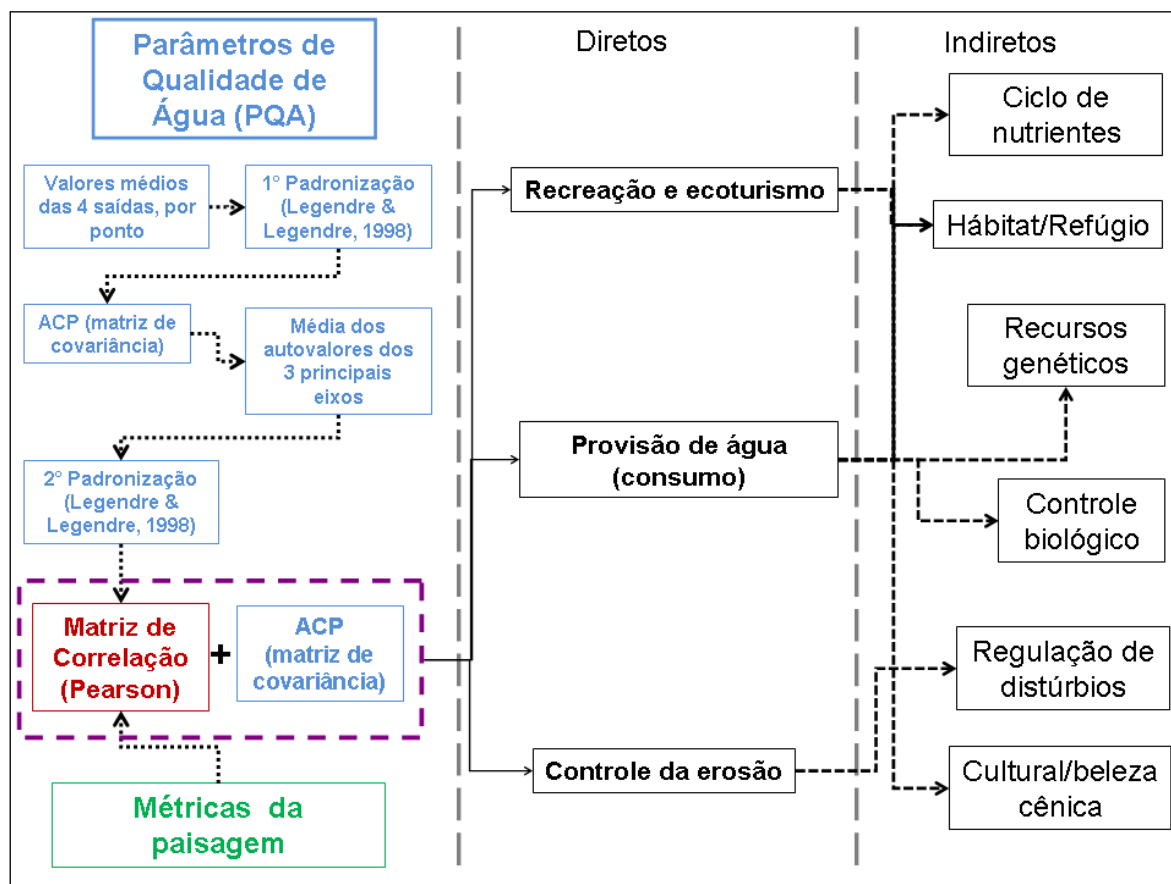


Figura 3. 3. Esquema de análise e interpretação dos resultados, e sua inferência nos serviços ecossistêmicos.

3.3. Resultados e discussão

3.3.1 As cinco fases de evolução podem ser retratadas pelas métricas de composição e de configuração da paisagem?

Os mapeamentos realizados para os anos de 1962, 2001 (Figura 2.10, Capítulo 2) e 2009 (Figura 3.4) foram avaliados de acordo com o método de BERTOLO *et al.* (2010), de forma a verificar o enquadramento das microbacias hidrográficas de acordo com critérios de classificação de bacias em fases de evolução histórica. Para tanto, foram comparadas as quatro principais classes dominantes de uso e ocupação

da terra ao longo de 40 anos. Constatou-se que as relações de áreas obtidas em escala de maior detalhe para essas quatro classes confirmaram as fases de evolução das microbacias previamente escolhidas para este estudo (Figura 3.5).

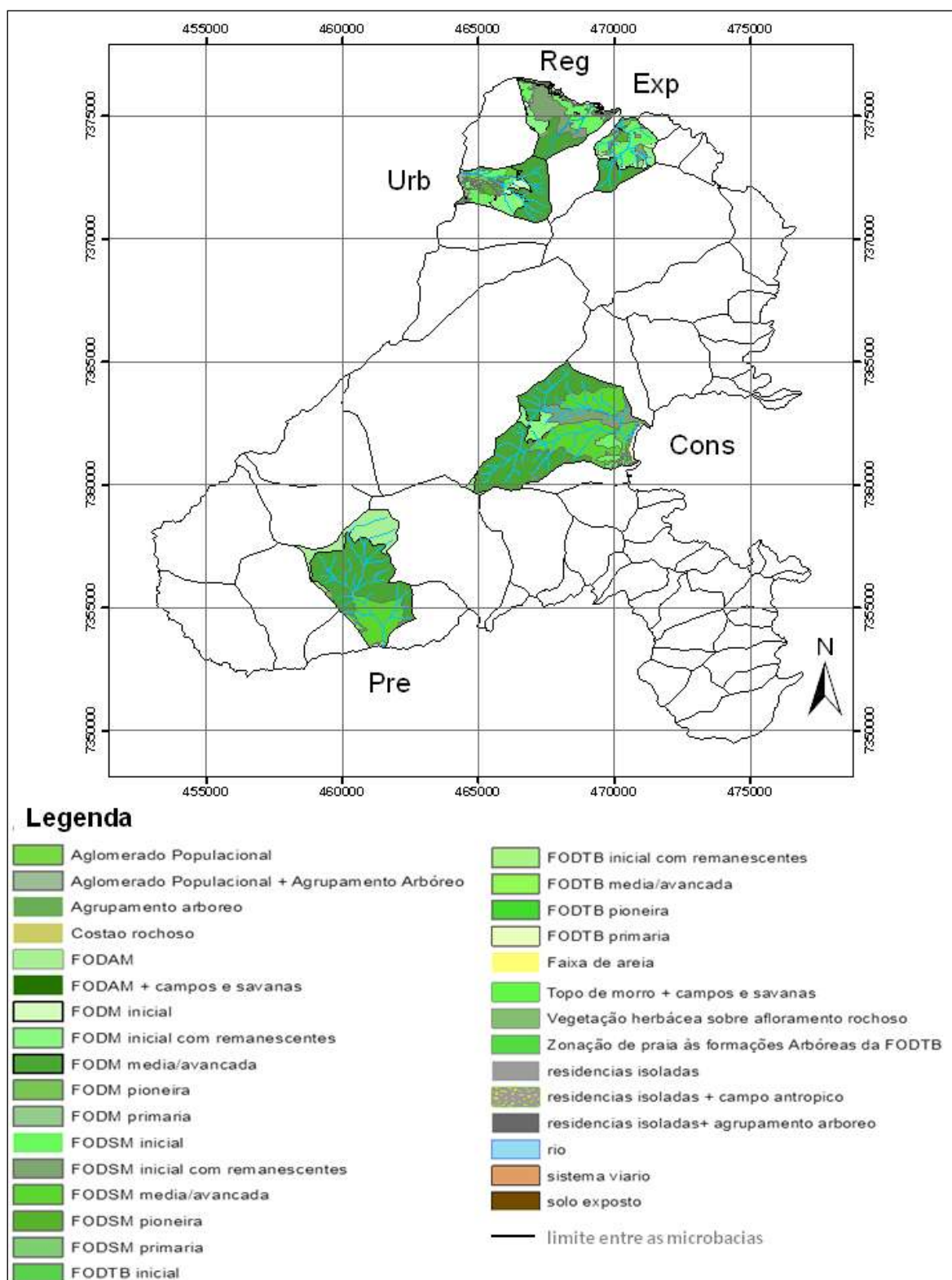


Figura 3. 4. Mapeamento para o ano de 2009 das cinco microbacias selecionadas para o estudo. Pre: preservação; Cons: conservação; Reg: regeneração; Exp: exploração; Urb: urbanização

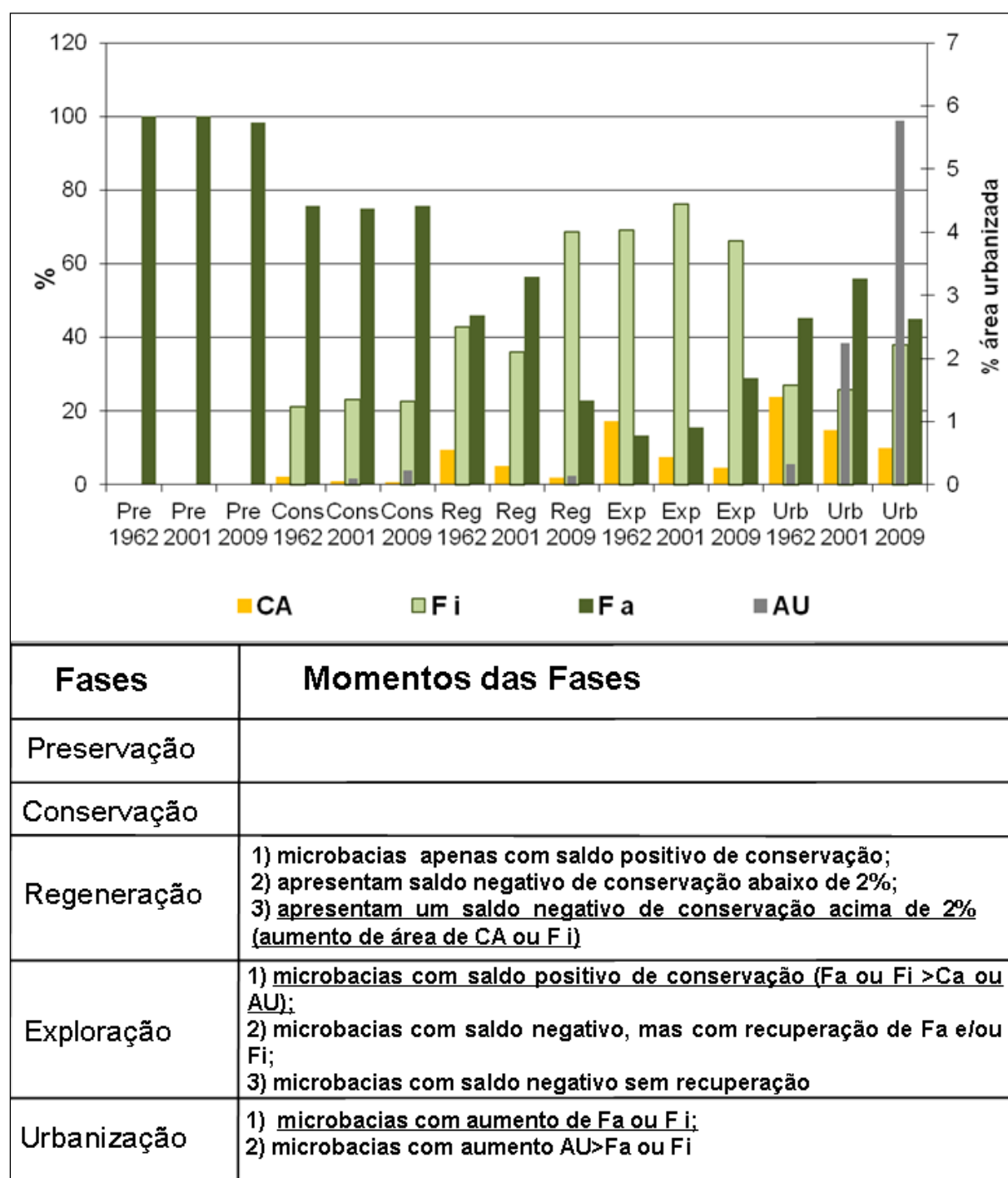


Figura 3. 5. Comparação entre os anos de 1962, 2001 e 2009 para as quatro classes de mapeamentos que definiram as cinco fases de evolução histórica dentro dos Momentos descritos por Bertolo *et al.* (2010), como etapas de transformação dentro da fase de evolução. F a: Floresta em estágio médio-avançado; F i: Floresta em estádios iniciais; CA: campo antrópico; AU: área urbanizada.

No entanto, utilizando as áreas ocupadas pelas principais classes de mapeamento presentes em 2009 (Figura 3.6), foi possível observar que a microbacia classificada na fase de regeneração apresentou uma menor porcentagem de floresta em estágio médio-avançado de regeneração e maior de área antropizada¹⁴, quando comparada com a microbacia na fase de exploração.

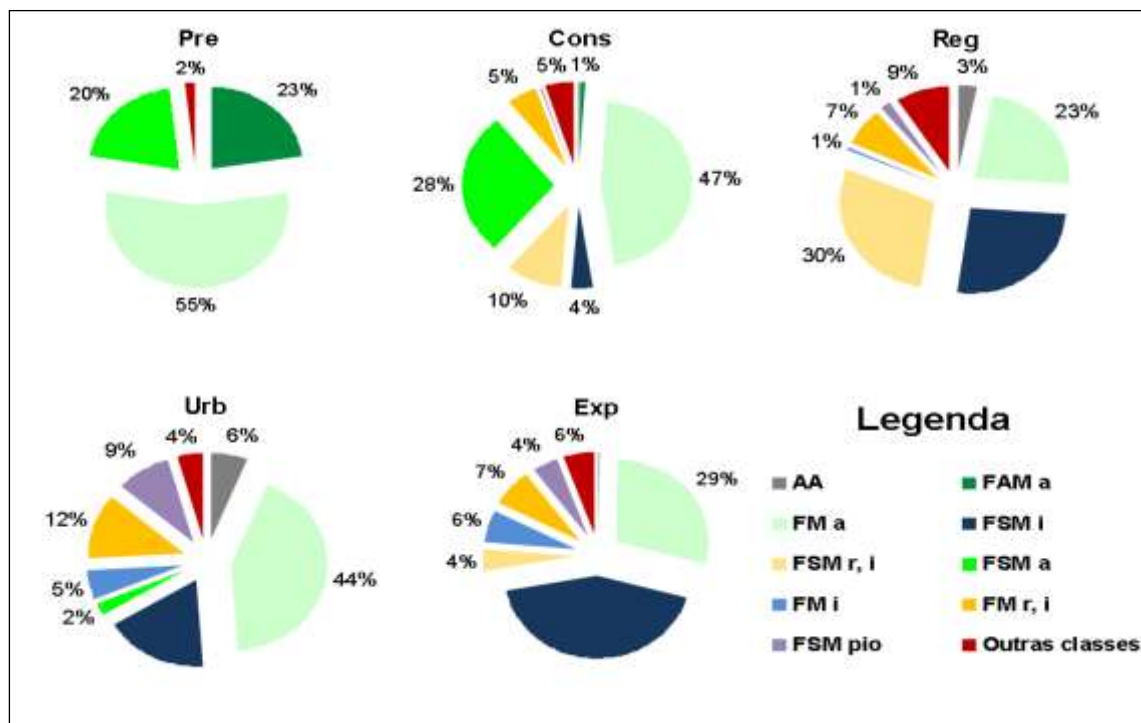


Figura 3. 6. Área ocupada pelas principais classes de mapeamento nas cinco fases de evolução da paisagem para o mapeamento de 2009. AA: área antropizada; FAM a: Floresta Alto Montana no estágio médio/avançado; FM a: Floresta Montana no estágio médio/avançado; FSM i: Floresta Submontana no estágio inicial; FSM r, i: Floresta Submontana no estágio inicial com remanescentes; FSM a: Floresta Submontana no estágio médio/avançado; FM i: Floresta Montana no estágio inicial; FM r, i: Floresta Montana no estágio inicial com remanescentes; FSM pio: Floresta Submontana pioneira; Outras classes: outras classes de mapeamento.

Esse resultado mostrou, especialmente para 2009, que a definição das fases pelas quatro classes impossibilita uma análise mais detalhada da influência dos diferentes tipos de usos e seus impactos negativos ao longo do ecótono da Ilha. Em outras palavras, somente a avaliação da composição da paisagem não permite afirmar sobre a magnitude dos efeitos deletérios e, consequentemente, deduzir sobre a

¹⁴ Área antropizada (AA) representa a soma de aglomerados populacionais, residências isoladas, vias de acesso e solo exposto.

degradação da oferta de serviços ecossistêmicos. KREUTER *et al.* (2001), por exemplo, valorou os serviços a partir da diferença simples entre áreas de classes de uso em um intervalo de tempo e concluiu que as transformações obtidas não foram suficientes para calcular, efetivamente, as perdas ou ganhos de serviços ecossistêmicos.

Acredita-se que a análise da configuração da paisagem, somada a sua composição, pode auxiliar a interpretação da degradação da oferta de serviços. Nessa linha, foram aplicadas métricas de composição e configuração (Tabela 3.4) nas cinco microbacias em diferentes fases de evolução histórica.

Tabela 3. 4. Métricas da paisagem utilizadas para descrição das fases de evolução das cinco microbacias.

Fases	Área da microbacia (ha)	NumP	MPS (ha)	ED (m/ha)	TE (m)	MSI	SDI	SEI
Pre	1298,15	12	108,2	39,4	51.209,9	1,9	1,1	0,56
Cons	1846,78	43	42,9	57,8	106.653,2	2,0	1,5	0,51
Reg	610,47	115	5,3	146,6	89.514,3	1,8	1,9	0,62
Exp	463,31	41	11,2	112,6	52.156,1	1,6	1,6	0,64
Urb	623,37	58	10,7	121,7	75.882,3	1,7	1,8	0,61

Pre: preservação; Cons: conservação; Reg: regeneração; Exp: exploração; Urb: urbanização; NumP: número de manchas; MPS: tamanho médio das manchas; ED: densidade de fronteiras; TE: total de fronteiras; MSI: índice de forma média; SDI: índice de diversidade de Shannon; SEI: índice de equitatividade.

Como era esperada, a microbacia na fase de preservação continuou com os melhores resultados de qualidade da paisagem entre todas as outras fases, pois apresentou: (i) o menor número de manchas e o (ii) maior tamanho médio das manchas, indicando a menor fragmentação desta microbacia entre as outras fases; (iii) menor índice de diversidade de tipos de uso; e (iv) baixa densidade de fronteiras, indicando que a paisagem sofreu poucas pressões de borda. Esse resultado qualifica essa microbacia como área-referência, indicando que a sua estrutura deve manter os fluxos e processos naturais dentro do ecótono.

Por outro lado, a microbacia na fase de regeneração apresentou resultados que comprovaram a perda de qualidade ambiental para o ano de 2009 e a aproximaram mais das fases de exploração e urbanização. As métricas que comprovaram essa afirmação foram: (i) o maior número de manchas e (ii) os seus menores tamanhos

médios que indicam a maior fragmentação da paisagem entre todas as fases; (iii) a maior diversidade de classes mapeadas e (iv) maior densidade de fronteiras, que atestam a variedade de interações e fluxos, funcionando como “filtros” de resistência e retenção, afetando a permeabilidade e influenciando as direções dos movimentos na paisagem (CADENASSO *et al.*, 2003; ROLDÁN MARTÍN *et al.*, 2003; ROLDÁN MARTÍN *et al.*, 2006). Esses resultados demonstraram que as ações humanas no momento presente estão alterando a tendência de evolução histórica da paisagem e no caminho da degradação ambiental. É provável que, em curto tempo, esta microbacia possa ser reclassificada como em fase de exploração. Esse é um resultado da força motora de urbanização e turismo sobre essa paisagem, que até então tinha apenas a função de ligação entre microbacias classificadas como em fases de urbanização e de exploração.

Os resultados demonstraram que, apesar da grande quantidade de cobertura florestal presente nas microbacias de conservação, regeneração, exploração e urbanização, devem ocorrer pressões humanas significativas sobre os remanescentes florestais, em função dos dados de densidade e extensão de fronteiras. O aumento percentual de áreas ocupadas pelos estádios sucessionais iniciais nas microbacias de regeneração e exploração (Figura 3.5) evidenciaram que houve uma diminuição de qualidade ambiental e, então, da oferta de serviços ecossistêmicos, principalmente relacionados aos recursos hídricos. Esse tipo de tendência já foi observado por outros autores, como LEE *et al.* (2009) e AMIRI e NAKANE (2009), que avaliaram a composição e configuração espacial em bacias hidrográficas na Coréia do Sul e no Japão, respectivamente, a partir do mapeamento de três tipos classes (urbano, agricultura e floresta) e mostraram a relação entre o maior número de manchas e a maior densidade de fronteiras com a degradação da qualidade da água.

Em síntese, este estudo sugere que, principalmente três, entre as sete métricas avaliadas (MPS, SDI e ED) apresentaram uma tendência de regressão polinomial de 2º ordem ($R^2 > 0,75$) com as fases de evolução (Tabela 3.5), sendo que o pico da curva se estabeleceu entre as microbacias de Regeneração e Exploração. A métrica NumP avaliada de forma isolada não é expressiva, mas quando combinada com o MPS, ED e SDI auxilia a interpretação da qualidade ambiental da fase de

evolução histórica. Essa informação corrobora as descrições feitas por GUSTAFSON (1998) e RIITTERS *et al.* (1995), que defendem a análise de um conjunto de métricas da paisagem para avaliar a qualidade ambiental da paisagem, desde que elas representem, efetivamente, os processos que estão sendo estudados.

Tabela 3. 5. Valor do R^2 da aplicação da curva de tendência polinomial de 2º ordem para as cinco fases de evolução e os dados de métricas da paisagem.

MÉTRICAS	R^2
MPS	0.9761
SDI	0.8027
ED	0.7651
MSI	0.6400
NumP	0.5133
SEI	0.4936
TE	0.2184

NumP: número de manchas; MPS: tamanho médio das manchas; ED: densidade de fronteiras; TE: total de fronteiras; MSI: índice de forma média; SDI: índice de diversidade de Shannon; SEI: índice de equitatividade

3.3.2. Como se comportam os parâmetros de qualidade da água nas cinco fases de evolução histórica da paisagem? Como eles podem ser utilizados para avaliar as alterações na oferta de serviços ecossistêmicos nas diferentes fases?

- *O comportamento dos valores totais dos parâmetros de qualidade da água ao longo do período amostral para as fases e ecótono*

Com objetivo de analisar a variação da qualidade da água causada pelas ações humanas nas microbacias em diferentes fases, as coletas buscaram avaliar o comportamento dos parâmetros sempre após períodos de maior visitação. Nesse sentido, a Figura 3.7 apresenta o valor médio mensal de entradas de pessoas e veículos na Ilha ao longo dos anos de 2009 e 2010, e, em destaque, a média de entradas nos três dias anteriores à coleta.

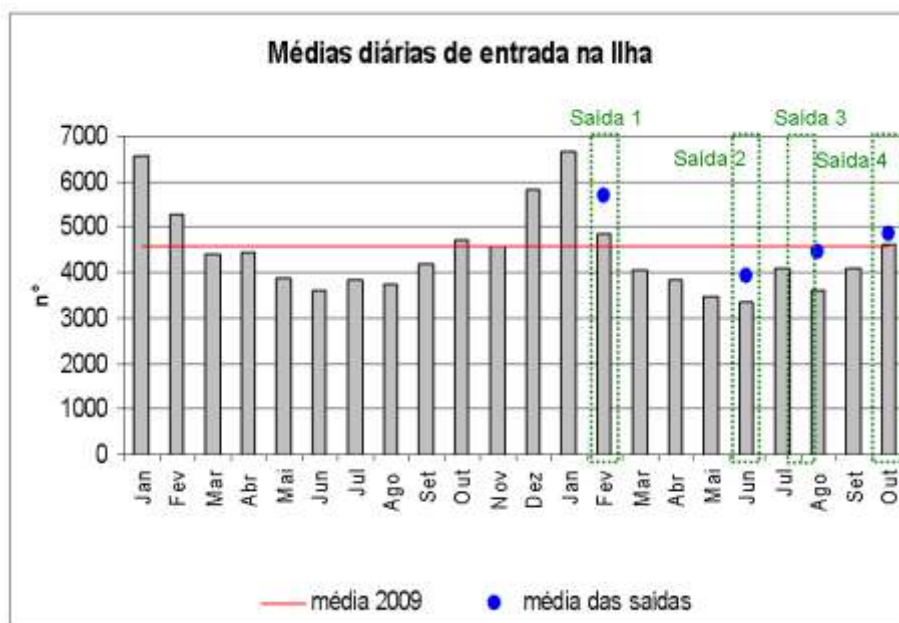


Figura 3. 7. Médias de entradas de pessoas e veículos na Ilha por mês nos anos de 2009 e 2010. Em destaque, a média de entrada nos dias anteriores às coletas. Dados fornecidos pela DERSA S.A.

Além da variação de visitação ao longo do ano, os períodos de coleta também estiveram sujeitos a diferentes períodos de pluviosidade como mostra a Figura 3.8.

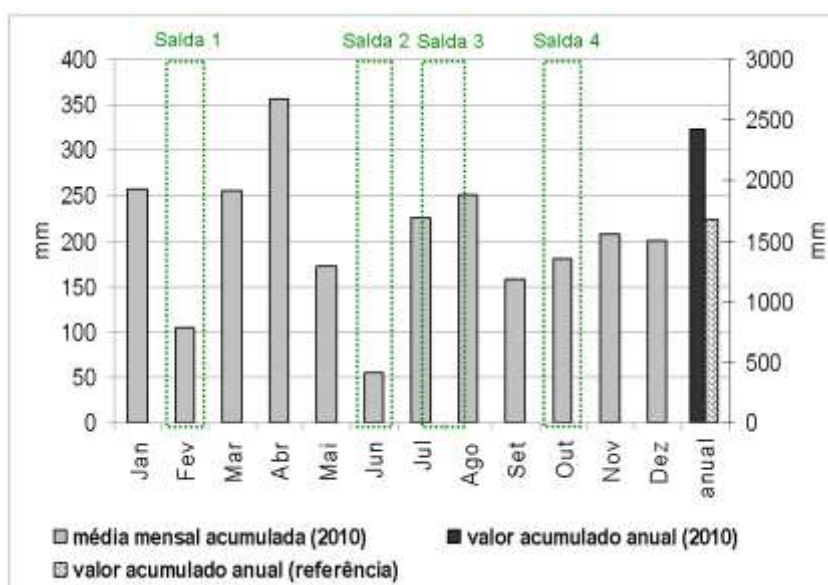


Figura 3. 8. Valores de pluviosidade acumulada por mês e o total acumulado, para o ano de 2010 e o acumulado total de referência (MILANESI, 2007). Dados para o ano de 2010 conseguidos junto ao CIIAGRO¹⁵.

¹⁵ <http://www.ciiagro.sp.gov.br/>

A pluviosidade para o período amostral em comparação com os valores descritos por MILANESI (2007) demonstra que o ano de 2010 foi atípico. Esse autor descreve que o regime de chuvas para a Ilha apresenta um regime anual bem definido, apresentando uma pluviosidade acumulada em torno e abaixo de 100 mm para os meses de julho, agosto e setembro, enquanto que para os meses de outubro a abril são esperados valores superiores a 220 mm mensais. Assim, a pluviosidade fora do esperado para os meses de fevereiro e julho/agosto pode ter influenciado de maneira negativa a interpretação dos valores obtidos para os parâmetros de qualidade da água ao longo do período amostral.

MILANESI (2007) ainda descreve que além da variação temporal, a Ilha de São Sebastião apresenta uma variação espacial de chuva, sendo que o lado continental apresenta, em média, 20% a menos de chuva que o lado oceânico. No sentido Sul-Norte, o mesmo autor afirma que a pluviosidade apresenta uma diminuição, sendo que no outono e no inverno as chuvas se concentram mais no setor Sul da Ilha, o que pode ser explicado pelo maior contato desta região com os sistemas frontais. Desta forma, deve-se atentar que as microbacias em estudo estão sujeitas a diferentes regimes de pluviosidade e os dados oficiais disponíveis não permitem fazer uma boa correlação com a variação das concentrações dos parâmetros medidos nos rios (Anexo 1) em relação a todas as microbacias, como mostra a Tabela 3.6.

Tabela 3. 6. Valores de correlação entre pluviosidade acumulada de três dias anteriores à coleta de água e os valores encontrados para os parâmetros de qualidade da água. Os valores em negrito referem-se à correlação $\geq 0,5$

Turb 1	Turb 2	Turb 3	Turb 4	Cond 1	Cond 2	Cond 3	Cond 4	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4
0,57	0,39	0,59	0,58	0,08	-0,04	-0,10	0,29	0,06	-0,11	-0,16	0,26
COT 1	COT 2	COT 3	COT 4	NTK 1	NTK 2	NTK 3	NTK 4	P-total 1	P-total 2	P-total 3	P-total 4
0,52	-0,12	0,37	0,24	-0,20	0,35	0,63	0,36	0,79	-0,13	-0,22	0,31
Zn 1	Zn 2	Zn 3	Zn 4								
0,03	0,16	-0,16	0,06								

Turb: Turbidez; Cond: Condutividade; ST: Sólidos totais; COT: Carbono Orgânico total; NTK: Nitrogênio total Kjeldhal; P-total: Fósforo total; Zn: Zinco.

1: 1° saída; 2: 2° saída; 3: 3° saída; 4: 4° saída

Entre todos aos parâmetros, o que apresentou maior correlação com a pluviosidade acumulada foi a Turbidez, indicando que esse parâmetro é sensível às variações nos volumes de água nos rios provenientes das chuvas para a Ilha como um todo. Outros elementos, como COT, P-total e NTK apresentaram eventualmente correlações significativas, mas a descontinuidade das respostas impede que o comportamento específico destes parâmetros ao longo do ano seja eficientemente explicado pela pluviosidade. Esse fato pode ser o resultado da falta de um período amostral mais longo, de repetições entre as fases e por características físicas específicas e de localização de cada microbacia. Essas condições podem ter impossibilitado que fosse encontrada uma tendência única de variação dos parâmetros físicos e químicos ao longo do período amostral para todas as microbacias.

Quando a análise dos parâmetros levou em consideração as variações ao longo do ecótono, observou-se que a Turbidez e a Condutividade foram bons indicadores das interferências humanas para a maioria das microbacias (Figura 3.11). Como exemplo, pode-se citar microbacia de conservação onde a presença de uma trilha chamada Estrada de Castelhanos, paralela ao curso do rio, provoca em períodos de chuva intensa, o carreamento de grande quantidade de material em suspensão. Devido a isso, podem ocorrer altos valores de Turbidez (Figura 3.9) ao longo de todo o curso do rio e, principalmente, no ponto *b* e *c* próximo da desembocadura. A observação desse processo para a microbacia de Conservação corrobora os resultados apontados no Capítulo 2, que indicaram uma clara tendência de degradação do serviço de controle de erosão.

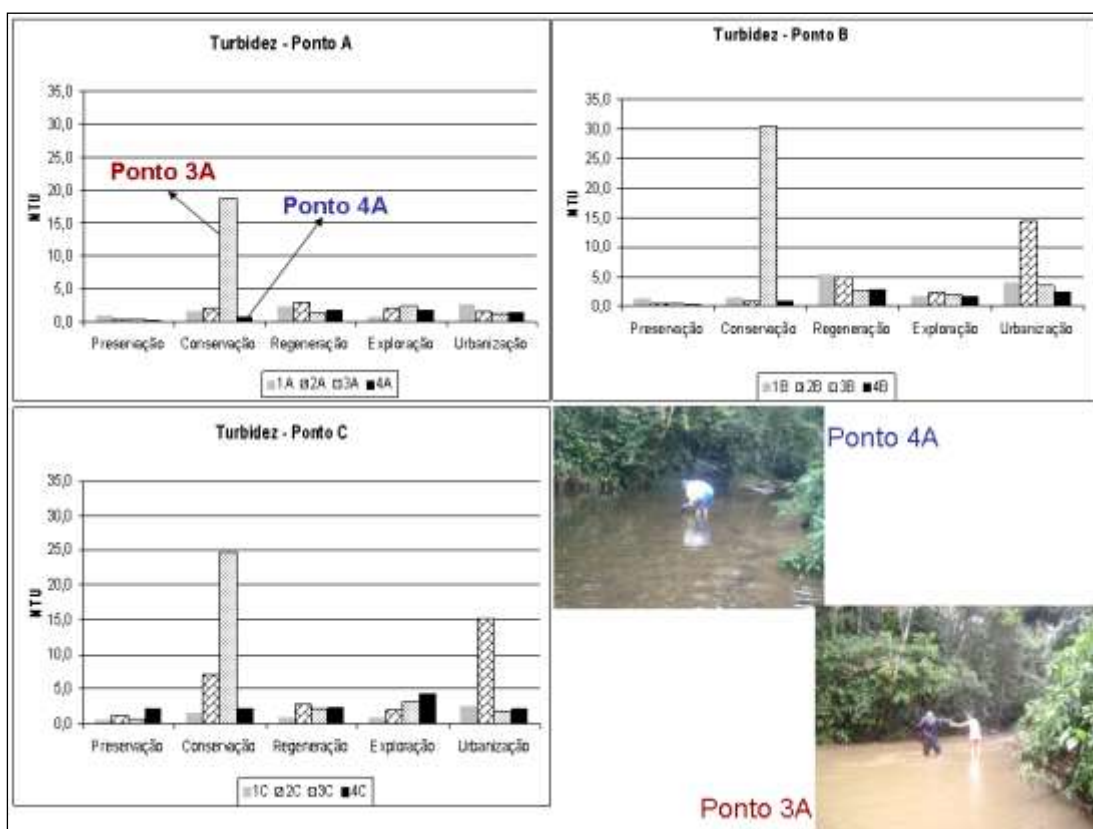


Figura 3. 9. Variação dos valores de Turbidez entre as fases dentro do período de coleta. Em destaque os valores e fotos da terceira e quarta saídas para a microbacia na fase de Conservação, mostrando a alteração da qualidade da água.

Apesar da grande variabilidade de valores encontrados para os parâmetros de qualidade da água, foi possível concluir que as fases extremas (preservação – urbanização) são bastante distintas. A presença humana na microbacia de Urbanização foi bastante evidente especialmente no ponto *b*, com as mais altas concentrações de Condutividade, NTK, P-total e Zn, indicando que descargas de efluentes domésticos podem estar comprometendo a qualidade das águas que chegam às praias e prejudicando a oferta de serviços ecossistêmicos como provisão de água e autodepuração, por exemplo. Por outro lado, as microbacias de Regeneração e Exploração estão em estágios intermediários de evolução e com tendência à degradação ambiental, conforme já descrito pelas métricas da paisagem. A maior heterogeneidade e a densidade de fronteiras antrópicas devem ter influenciado a maior variação dos parâmetros de qualidade da água ao longo do período amostral.

Todas essas considerações não se aplicam quando a influência do mar é determinante. Os dados obtidos ao longo do período amostral e das cinco microbacias, permitiram observar que os valores dos pontos *c* apresentavam um comportamento ora concentrador, ora diluidor das concentrações, dependendo do período do ano e da localização da microbacia. Assim, para avaliar o potencial de cada microbacia com relação à concentração, ou não, das descargas fluviais foi realizada uma comparação entre a variação dos valores de Turbidez, COT, NTK e P-total e as condições de maré – enchente ou vazante - da hora da coleta (Figura 3.10). Com isso, foi possível observar que para as microbacias de preservação, conservação, regeneração e exploração a variação das concentrações do ponto *c* são dependentes das condições da maré. Para a microbacia de Urbanização as condições de maré mostraram uma tendência maior à diluição das concentrações dos parâmetros citados em relação às outras microbacias. Isso indica que as condições marinhas da microbacia de urbanização possibilitam uma diluição das descargas fluviais, favorecendo a autodepuração do ambiente costeiro.

Parâmetros	Turbidez				COT				NTK				P-total				Resultados
Saída	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	
Preservação	↓ M	X	↓ C	↑ M	↓ M	X	↓ M	↑ M	↓ C	X	↓ M	↑ M	↓ C	X	↓ M	↑ M	M = 9 D = 0 C = 3
Conservação	↑ D	↑ M	↓ M	↓ C	↑ M	↑ M	↓ C	↓ M	↑ 0	↑ M	↓ M	↓ 0	↑ 0	↑ M	↓ C	↓ C	M = 8 D = 1 C = 4
Regeneração	↓ M	↓ M	↑ D	↓ M	↓ C	↓ M	↑ M	↓ C	↓ 0	↓ C	↑ D	↓ M	↓ M	↓ M	↑ D	↓ M	M = 9 D = 3 C = 3
Exploração	↑ D	↓ M	↑ M	↓ C	↑ M	↓ M	↑ D	↓ C	↑ D	↓ C	↑ D	↓ C	↑ D	↓ M	↑ M	↓ C	M = 6 D = 5 C = 5
Urbanização	↑ D	↓ C	↑ D	↑ D	↓ D	↓ M	↑ M	↑ M	↑ M	↓ M	↑ D	↑ D	↑ D	↓ M	↑ D	↑ D	M = 6 D = 9 C = 1

0: não houve alteração das concentrações dos parâmetros entre os pontos b-c; M: variou junto com a maré; D e C: variação no sentido contrário à maré, respectivamente diluindo ou concentrando os valores dos parâmetros entre os pontos b-c; X: sem coleta.

Figura 3. 10. Identificação da tendência à diluição ou concentração nos pontos localizados na foz dos rios. Setas vermelhas indicam os períodos de preamar (enchente); as setas azuis os períodos de baixamar (vazante); as pretas indicam a tendência ao aumento (para cima) ou diminuição (para baixo) das concentrações dos parâmetros entre os pontos b-c.

Em suma, este estudo não demonstrou uma perfeita distinção entre as fases de evolução a partir dos valores brutos dos parâmetros, sugerindo que os valores médios entre todas as coletas poderiam responder melhor o gradiente observado nas microbacias, como será avaliado a seguir.

- *O comportamento médio dos parâmetros de qualidade da água ao longo do ecótono e das fases*

A variação do comportamento dos parâmetros de qualidade da água ao longo do ecótono nas cinco fases de evolução da paisagem, dada pelas médias dos valores obtidos ao longo do período amostral, pode ser observada na Figura 3.11.

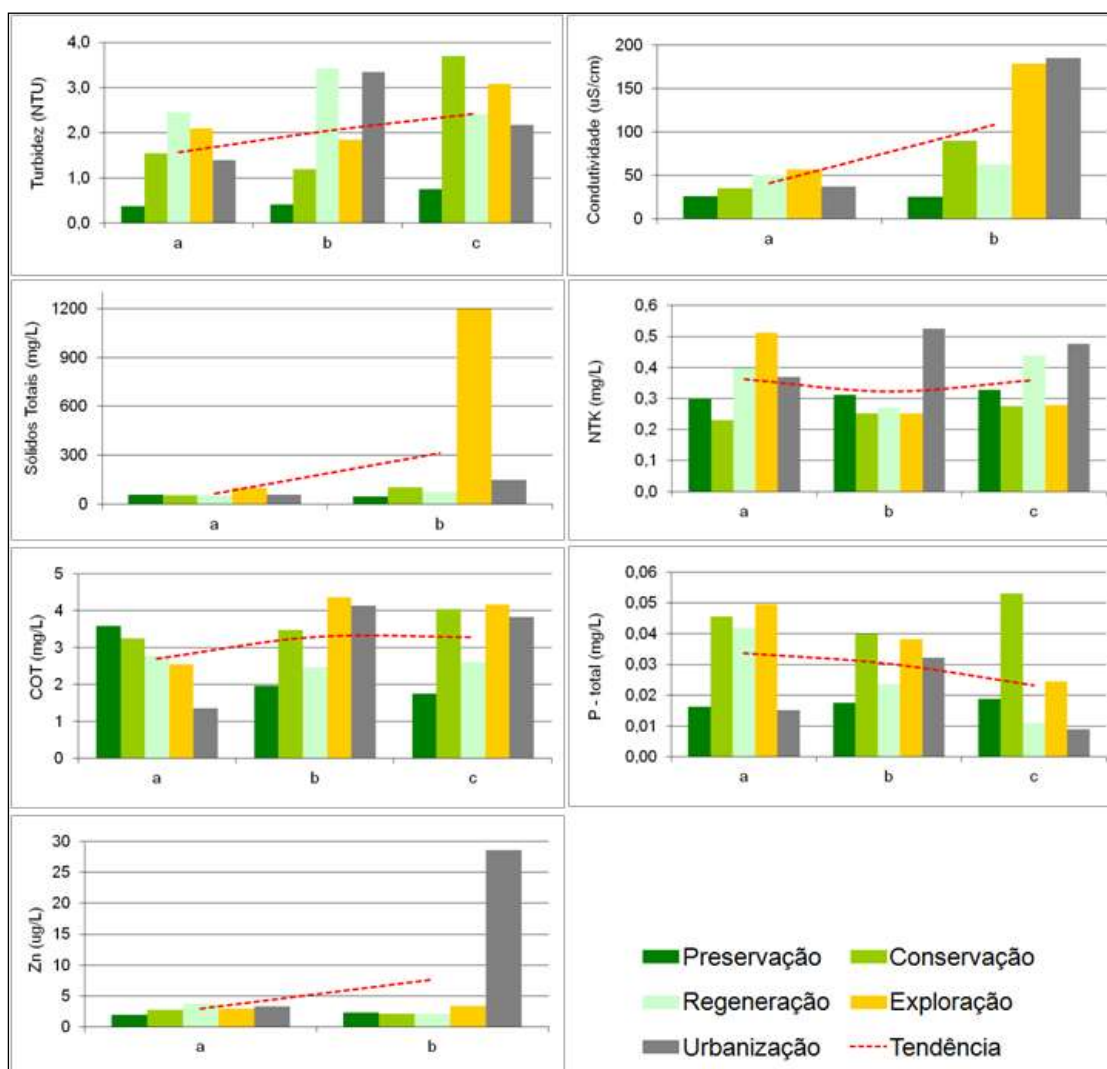


Figura 3.11. Comportamento dos parâmetros de qualidade da água. *a*: ponto a montante (ou mais alto); *b*: ponto intermediário; *c*: ponto na foz do rio, sob a influência da água do mar. O ponto *c* para condutividade, sólidos totais e Zn (zinco) foi excluído por apresentar valores muito altos, devido a concentração destes parâmetros na água do mar.

A partir dos valores médios de cada ponto de coleta nas cinco microbacias hidrográficas pode-se observar com maior clareza a existência de uma tendência ao aumento das concentrações da maior parte dos parâmetros físicos e químicos ao longo do ecótono. Essa tendência fica evidente, principalmente, nos trechos dos rios (*a* e *b*), sendo que nos pontos *c*, já sob a influência da água do mar, a variação das concentrações refletiu o comportamento ora concentrador, ora dissipador das áreas receptoras das descargas fluviais, como já descrito anteriormente. A Figura 3.11 também evidenciou a grande variação de comportamento entre as microbacias nas diferentes fases de evolução, com grande distinção entre as fases de Urbanização e de

Preservação. Os parâmetros que melhor descreveram as fases de evolução da paisagem foram:

a) Turbidez: os menores valores para os três pontos analisados ao longo do ecótono para a fase de preservação confirmaram o que era esperado, ou seja, de que essa fase pode servir de referência para a análise das demais fases. Já o comportamento crescente dos valores de Turbidez ao longo do ecótono, principalmente nos pontos *a* e *b*, das fases de regeneração e urbanização demonstrou que esse parâmetro é sensível a maior fragmentação, diversidade de usos e densidade de fronteiras encontradas pelas métricas da paisagem dessas microbacias, uma vez que os processos sinalizados pelas métricas induzem uma maior quantidade de material em suspensão carregado para os rios (VINCENZO *et al.*, 2011).

b) Condutividade e Sólidos Totais: a utilização desses parâmetros indicou que para todas as microbacias houve o incremento de compostos dissolvidos e particulados à composição da água entre os pontos *a* e *b*. Destaca-se que os altos valores médios desses parâmetros para o ponto *b* da fase de exploração podem indicar que as atividades turísticas realizadas na praia, próximo ao ponto de coleta, podem ter influenciado esses resultados e, em especial os altos valores de Sólidos totais (BAOYING e YUANQUING, 2007). Para o ponto *c*, estes dois parâmetros refletiram a importância das descargas de águas fluviais para ambiente costeiro, uma vez que, quanto maior a ordem do rio, menores foram os valores destes dois parâmetros nesse ponto. Essa influência no ambiente marinho costeiro pode ser observada, principalmente nas microbacias de Preservação e Conservação (Figura 3.12).

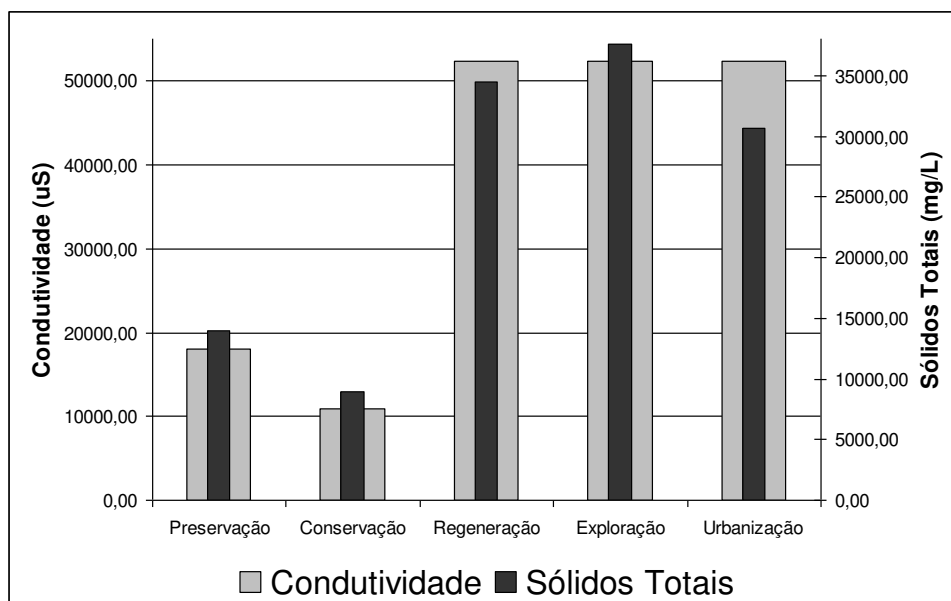


Figura 3. 12. Influência das descargas dos rios no ambiente costeiro.

c) NTK e P-total: estes parâmetros apresentaram o resultado esperado apenas para as fases extremas de evolução da paisagem, pois enquanto na fase de Preservação eles apresentaram baixos valores e um comportamento quase conservativo ao longo do ecótono, para a fase de urbanização eles apresentaram um aumento de valor do ponto *a* para o *b*, provavelmente devido às descargas de efluentes presentes nesse trajeto. Resultados semelhantes já foram descritos por JOHNSON *et al.* (1997), SMITH *et al.* (1999) e MARTINELLI *et al.* (2010), que verificaram que o aumento do carreamento de nitrogênio e fósforo para os rios, lagos e oceanos no mundo todo são fortemente influenciados pela presença de aglomerados populacionais às margens dos rios. A diminuição nos valores desses parâmetros no ponto *c* para a microbacia de urbanização corrobora com o caráter diluidor já descrito anteriormente (Figura 3.10). No entanto, para as fases intermediárias de evolução o comportamento aleatório desses parâmetros ao longo do ecótono não pode ser explicado pelo conjunto de dados obtidos, sendo necessária uma avaliação mais detalhada (maior número de pontos) e contínua (maior período amostral) para se entender a relação entre os processos ecológicos e as interferências humanas responsáveis por esses resultados.

d) Zinco: este elemento metálico foi utilizado por ser um bom indicador de descargas de efluentes domésticos, desde que a sua ocorrência possa ser relacionada com os

parâmetros de P-total, NTK e COT. No caso da microbacia na fase de urbanização isso ocorreu, pois foi possível observar o aumento das concentrações de todos estes parâmetros do ponto *a* para o *b*, principalmente em relação ao zinco. Tal comportamento pode ser mais um importante indicativo de que as descargas de efluentes nesta microbacia estão causando alterações na qualidade da água.

O comportamento aleatório das concentrações de COT entre as fases e pontos ao longo do ecótono pode ser explicado pelas características físicas dos cursos de água e da mata ciliar como, por exemplo, percentual de cobertura de mata, tipo de vegetação natural, sombreamento do rio pelo dossel da mata, velocidade e vazão do fluxo de água, entre outros, que podem influenciar nas respostas do carbono (GILLER *et al.*, 2001; BEGON, 2007; RICKLEFS, 2003; TUNDISI, 2008). No entanto, o agrupamento das fases de melhor estado de conservação (Preservação – Conservação) em paralelo com as de pior estado (Exploração - Urbanização) permitiu observar que existe uma tendência distinta de comportamento das concentrações de COT ao longo do ecótono (Figura 3.13). Assim, por exemplo, as fases em melhor estado de conservação evidenciaram que a matéria orgânica presente nas áreas mais altas das microbacias pode ser rapidamente degradada até a sua entrada no mar (serviço de autodepuração), boa parte em virtude das sucessivas quedas de água em substrato rochoso. Por outro lado, nas microbacias de pior estado de conservação, apesar das semelhanças físicas com as de melhor estado de conservação, as concentrações de COT aumentaram do ponto *a* para o *b*. Isso pode indicar que os lançamentos de efluentes, ou outras ações humanas realizadas próximas à orla, que induzem impactos como derreamentos de óleos e lavagem de vias de acesso, incrementam a concentrações desses compostos orgânicos. Além disso, o curto espaço entre o ponto *b* e o mar impede que ocorra a degradação ou a maior diluição destes compostos no momento que eles cheguem ao mar.

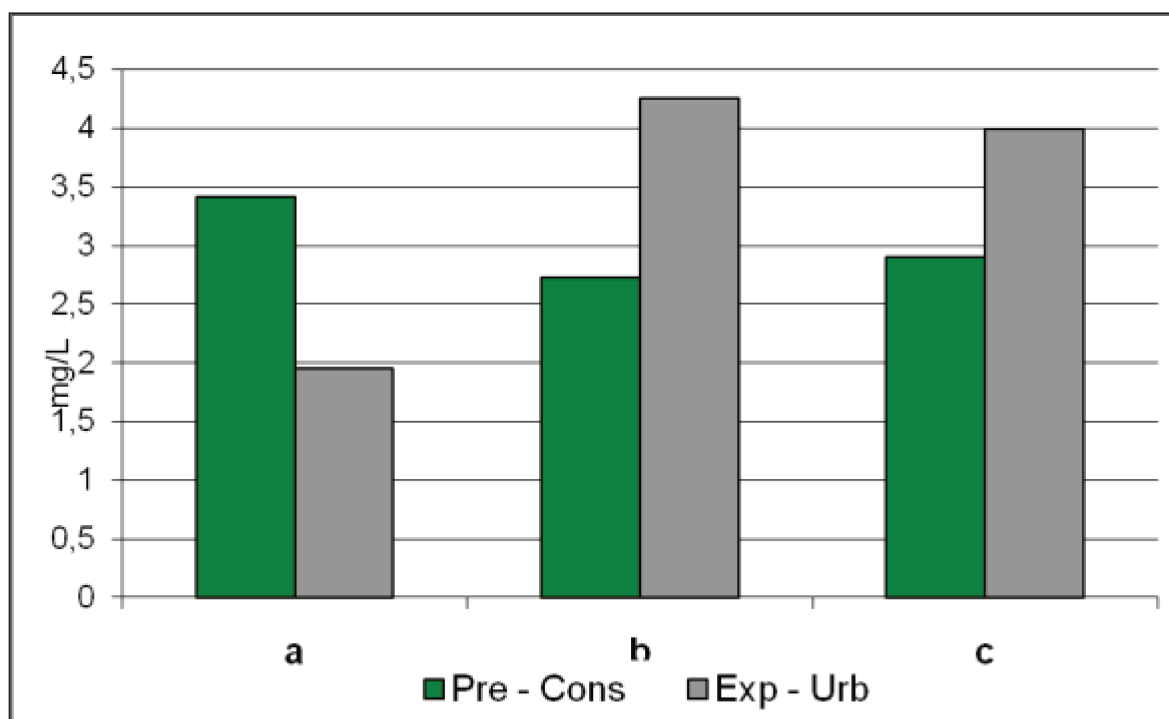


Figura 3. 13. Comportamento do Carbono Orgânico Total (COT) em dois grupos de fases.

Em síntese, foi possível verificar que os parâmetros de Turbidez, NTK, P-total e Zn possibilitam a análise e a comparação das fases extremas de evolução da paisagem: preservação e urbanização. Para essas fases, a variação dos valores desses parâmetros ao longo do ecótono refletiu de forma clara as interferências humanas na paisagem identificadas e descritas pelas métricas da paisagem para essas duas microbacias. Para as fases intermediárias de evolução, apesar dos resultados não permitirem a identificação de uma tendência única, foi possível observar que (i) a Turbidez se mostrou sensível a maior fragmentação, diversidade de usos e densidade de fronteiras encontradas pelas métricas da paisagem na microbacia de regeneração, (ii) além de mostrar que, em períodos de chuva intensa na microbacia de conservação, o maior carregamento de material em suspensão pode indicar uma clara tendência de degradação do serviço de controle de erosão nessa microbacia; (iii) a Condutividade e os Sólidos totais mostraram uma possível influência das atividades turísticas realizadas na praia da microbacia de exploração na degradação da qualidade da água; e (iv) ao se agrupar as fases em melhor e pior estado de conservação, foi possível identificar uma

tendência distinta de comportamento do COT ao longo do ecótono, indicando que nas microbacias de pior qualidade ambiental os lançamento de efluentes ou outras ações humanas pode estar provocando o aumento dos compostos orgânicos na água dos rios. Esses resultados possibilitaram concluir que, pelo menos, os serviços ecossistêmicos recreação, provisão de água e controle de erosão apresentaram uma degradação ao longo do ecótono.

3.3.3. Qual a influência da estrutura da paisagem e da qualidade da água na variação da oferta dos serviços ecossistêmicos sob um gradiente histórico de evolução da paisagem?

Os resultados anteriores evidenciaram que não existe um ou alguns elementos ligados a qualidade da água que se relacione, efetivamente, a todo o gradiente de fases evolutivas, ditadas pelas mudanças no uso e ocupação da terra ao longo do tempo, ou seja, a hipótese inicial deste trabalho não foi totalmente confirmada. Por outro lado, vários elementos evidenciaram, satisfatoriamente, as transições entre os ecótonos para a maioria das microbacias. Em relação às métricas, foi evidente o seu papel na explicitação das fases, sendo que algumas delas apresentaram uma relação mais direta do que outras. Por essa razão, concluiu-se que somente um conjunto somado de parâmetros relacionados a qualidade da água e métricas da paisagem não poderiam explicar a degradação dos serviços, mas que cada um dos valores deveria ter um peso relativo ao seu potencial de explicação sobre as fases ou sobre o ecótono. Desta forma, ponderaram-se os serviços em relação aos valores envolvidos em cada um deles, de acordo com a Tabela 3.7, sendo que os dados foram padronizados entre 0 e 1 (Equação 3.1), de forma que a melhor qualidade ambiental seja representada pelo valor zero e a pior pelo valor 1. As Figuras 3.14, 3.15 e 3.16 apresentam os resultados obtidos do cálculo da degradação dos serviços ecossistêmicos para as métricas da paisagem ao longo do gradiente de fases, dos Parâmetros de Qualidade da Água e da somatória das métricas e Parâmetros de Qualidade da Água para cada trecho do ecótono e a sua respectiva somatória. No Anexo 2 estão os resultados tabelados.

Tabela 3. 7. Relação entre serviços ecossistêmicos e elementos de qualidade da água, estágios sucessionais da floresta e métricas, ponderados de acordo a capacidade de responder as fases de evolução das microbacias e ao ecótono.

Indicadores de serviços ecossistêmicos		Parâmetros de Qualidade de Água (PQA)							Estádios sucessionais da floresta					Métricas da paisagem					
		NTK	P-total	Turb	Cond	ST	COT	Zn	AA	Fa	Fi	Fi,r	Fpio	SEI	MSI	ED	MPS	SDI	NumP
Pesos		2		4	3	1			1					1		3	4	2	
Serviços de Provisão	Água para consumo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Serviços de Regulação	Controle de erosão			x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Serviços culturais	Recreação e ecoturismo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

AA: área antropizada; Fa: Floresta no estágio médio/avançado; Fi: Floresta no estágio inicial; Fi, r: Floresta no estágio inicial com remanescentes; Fpio: Floresta pioneira.

NumP: número de manchas; MPS: tamanho médio das manchas; ED: densidade de fronteiras; MSI: índice de forma média; SDI: índice de diversidade de Shannon; SEI: índice de equitatividade.

Turb: Turbidez; Cond: Condutividade; ST: Sólidos totais; COT: Carbono Orgânico total; NTK: Nitrogênio total Kjeldhal; P-total: Fósforo total; Zn: Zinco.

Utilizando-se apenas as métricas da paisagem e os estádios sucessionais da floresta ficou evidente a diminuição da qualidade da oferta de serviços ao longo do gradiente de fases de evolução (Figura 3.14). Ocorreu uma perda contínua e gradual dos estádios mais avançados de floresta em consonância com o aumento das áreas antropizadas enquanto que as métricas destacaram a perda acentuada de serviços ecossistêmicos na fase de Regeneração devido as suas características de configuração da paisagem.

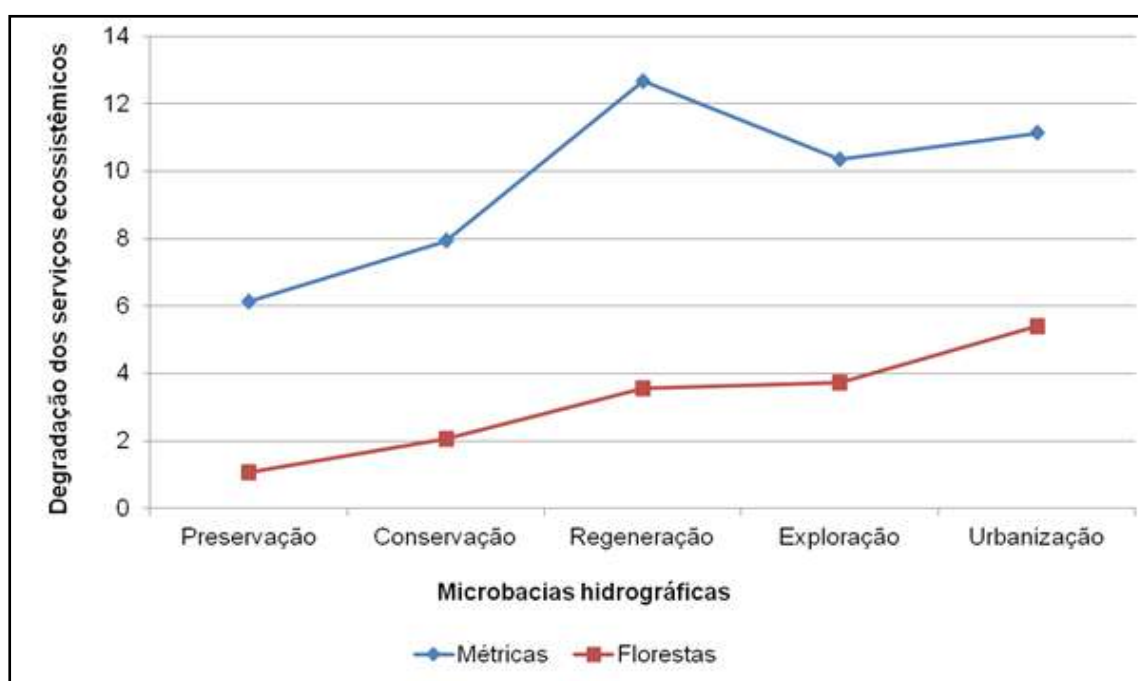


Figura 3. 14. Degradação dos serviços ecossistêmicos medido por métricas e pela ocorrência de florestas ao longo do gradiente de fases de evolução histórica da paisagem.

Em relação a degradação dos serviços ecossistêmicos originados a partir dos parâmetros de qualidade da água (Figura 3.15) foi possível constatar que (i) houve uma perda acentuada de qualidade na oferta dos três serviços analisados do ponto *a* para o ponto *b* na microbacia da fase urbanização, representada principalmente pelo incremento do NTK, condutividade e Zn, que apesar de pouco valorados expressaram a influência humana nesse trecho da microbacia; (ii) as fases de evolução da paisagem foram bem representadas pelos valores do ponto *b*, ou seja, as fases estão intimamente

ligadas ao padrão de ocupação da orla; e (iii) o aumento acentuado da diminuição da oferta de serviços que ocorreu do ponto *b* para o *c* na maioria das fases e, em especial, para a fase de conservação, foi reflexo dos altos valores de Turbidez para essa microbacia, refletindo mais uma vez a importância das descargas fluviais no ambiente costeiro.

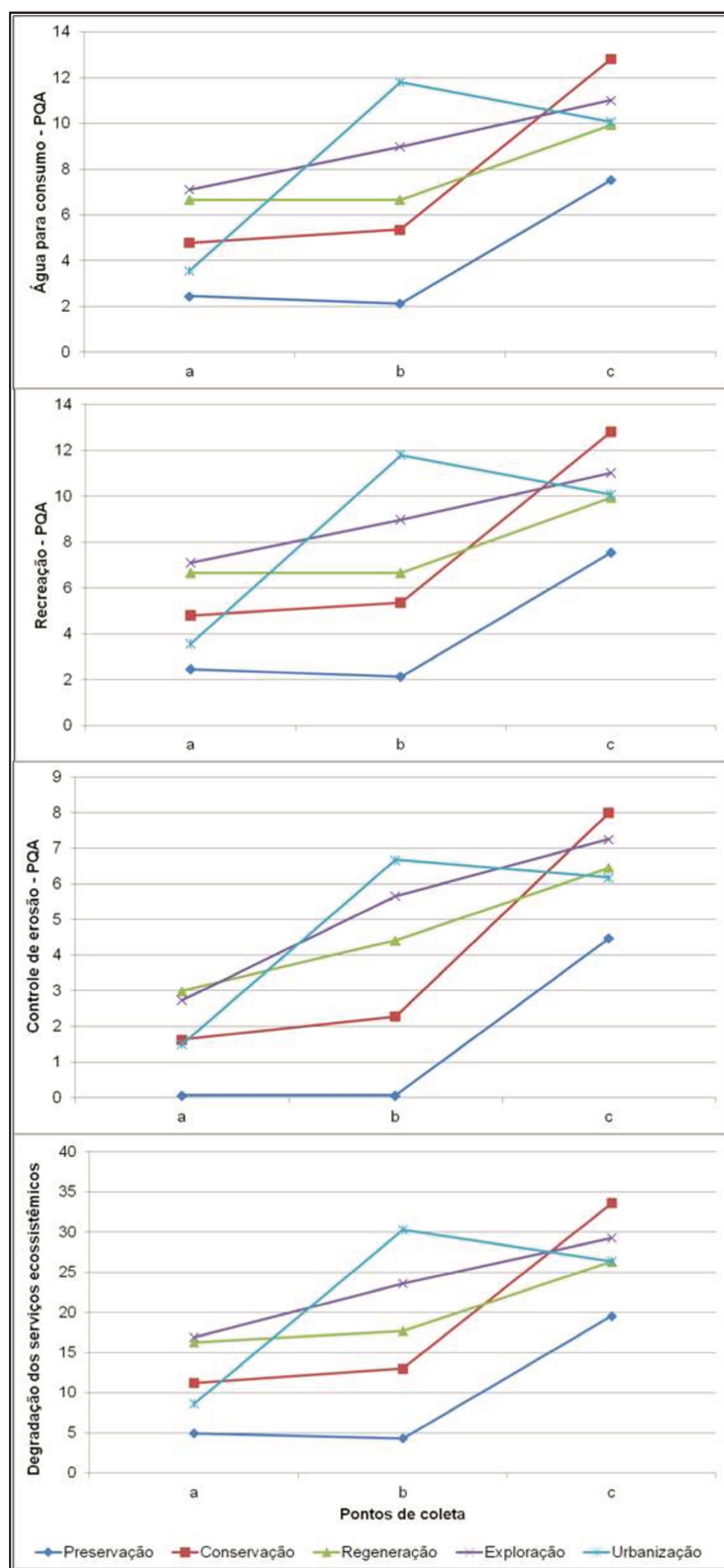


Figura 3. 15. Degradação dos serviços ecossistêmicos para o PQA ao longo do gradiente ecotonal para as cinco fases de evolução da paisagem.

O somatório das informações de métricas e qualidade da água foi realizado com o objetivo de simular, mesmo que de forma grosseira, o comportamento combinado entre os dois eixos da paisagem: ecótono e gradiente (Figura 3.16). Essa “simulação” ajudou a observar, claramente, o gradiente entre as fases de evolução a partir da diminuição da oferta de serviços. Também reflete que a grande área ocupada por florestas em estágio médio-avançado atenua as respostas das métricas e dos parâmetros de qualidade da água. É importante ressaltar que a microbacia de urbanização, mesmo tendo uma grande quantidade de floresta, apresentou uma perda pronunciada de serviços, destacando o papel dos aglomerados populacionais nesse cálculo de degradação.

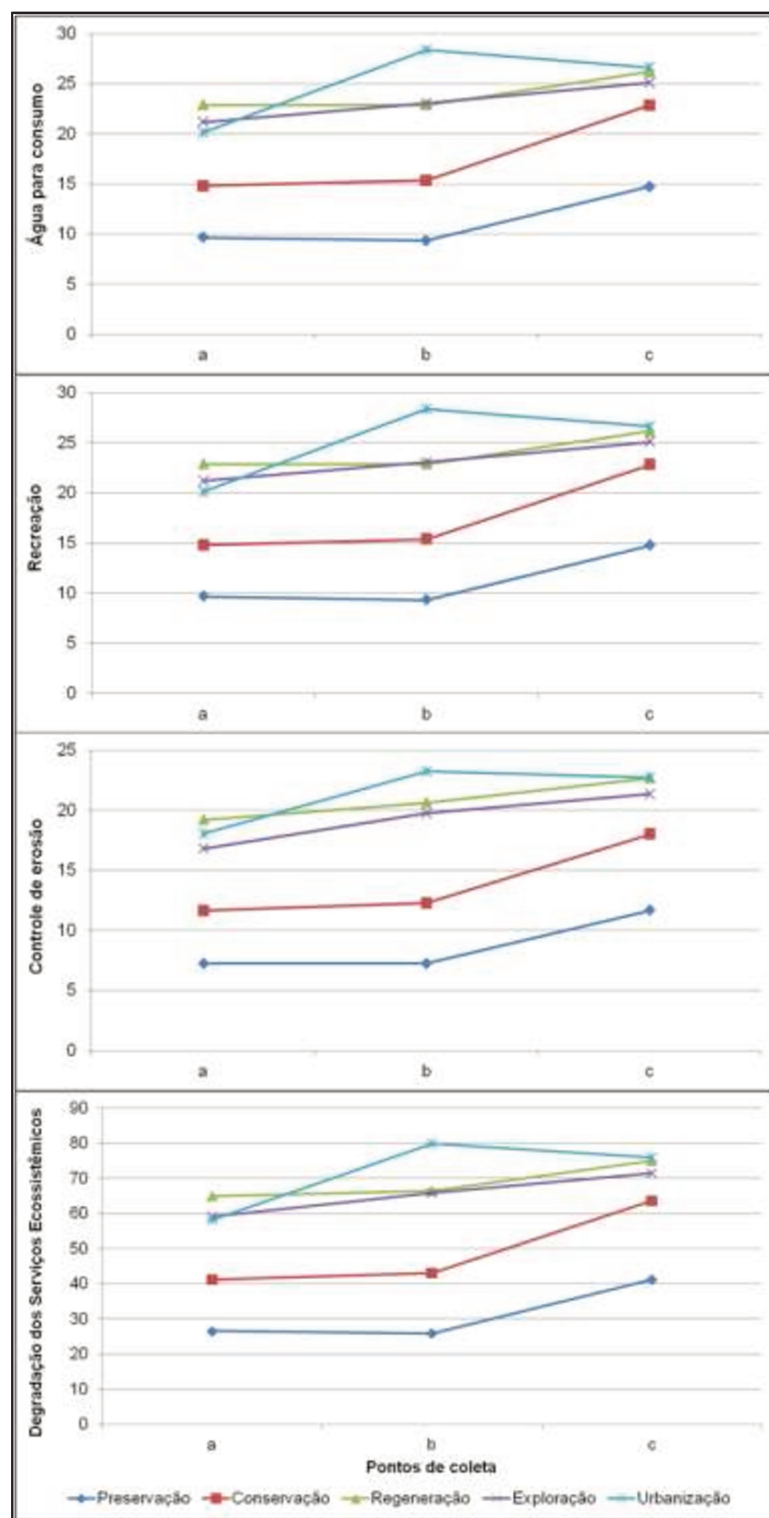


Figura 3. 16. Degradação dos serviços ecossistêmicos para o PQA e métricas da paisagem ao longo do gradiente ecotonal para as cinco fases de evolução da paisagem.

A degradação dos serviços de provisão de água (para o consumo) e de recreação aproximou as microbacias de regeneração e exploração, destacando mais uma vez que as configurações dessas paisagens tiveram um papel importante na interpretação sobre perda de qualidade ambiental. Além disso, merece destaque o fato de que as microbacias de regeneração, exploração e urbanização, apesar da distinção entre as fases de evolução, tiveram valores de degradação de serviços ecossistêmicos muito próximos. Desta forma, isso reflete que, apesar da aparente conservação, dada pela ocupação das florestas no território, a atuação da força motora de urbanização e turismo é intensa e vem conduzindo a dinâmica de alteração dessas paisagens.

Sem dúvida, esses resultados são informativos da situação da degradação de serviços ecossistêmicos nos dois eixos da Ilha (fases e ecótono) e parecem ser bons instrumentos facilitadores do debate público em planejamentos ambientais, pois permitem uma ampla comparação de diferentes situações, passadas ou presentes. No entanto, há limitações que devem ser consideradas. A mais importante delas refere-se a capacidade restrita dos parâmetros e métricas em representar a totalidade de variação de serviços ao longo dos dois eixos (ecótono e fases). A Análise de Componentes Principais (ACP) para os três pontos de coleta nas cinco fases de evolução histórica e para os parâmetros de qualidade da água permitiu observar alguns padrões desse comportamento restritivo, como mostrado na Figura 3.17.

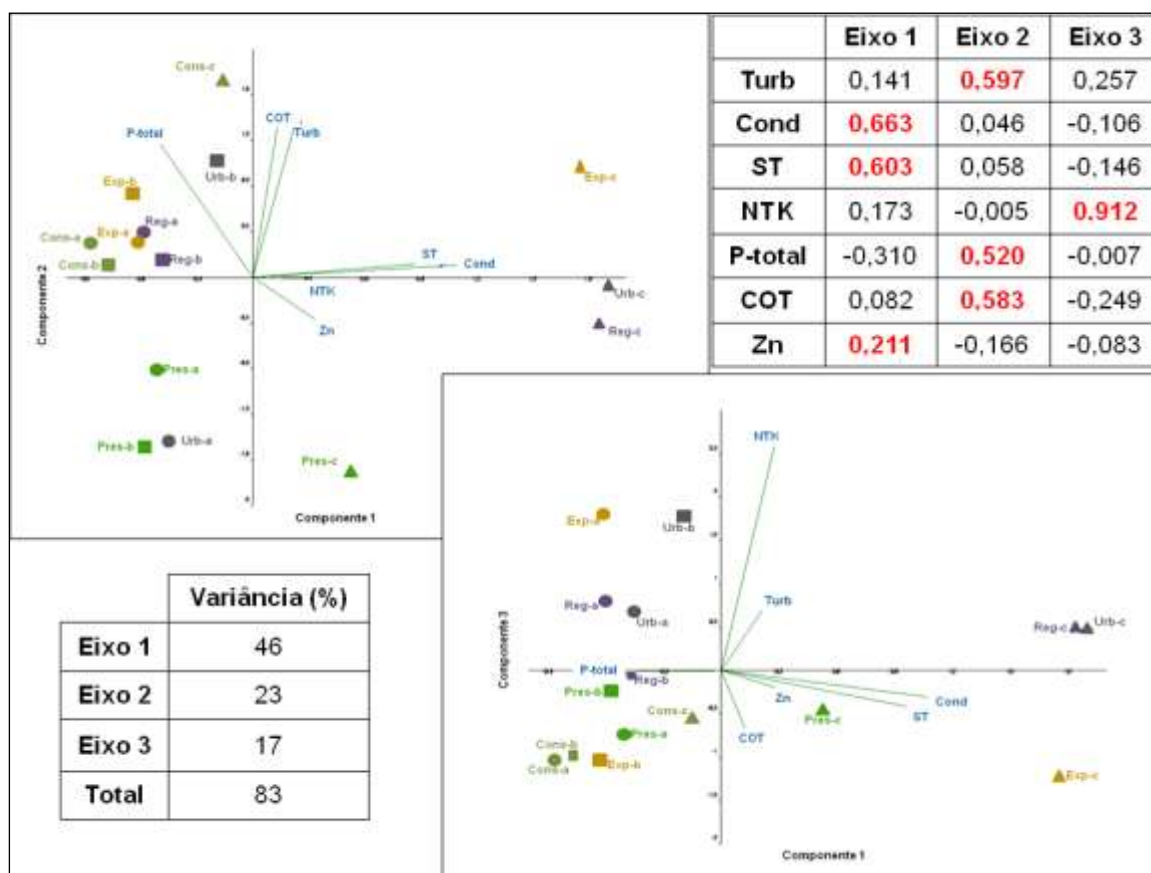


Figura 3. 17. Análise de Componentes Principais (matriz de covariância) para as fases de evolução histórica, pontos de coleta e parâmetros de qualidade da água, destacando os escores dos três principais eixos e as suas porcentagens de variância.

O eixo da ACP que respondeu por 46% da variação dos dados analisados, apresentou uma forte influência dos pontos *c* relacionados aos parâmetros Condutividade, os Sólidos totais e o Zinco, especialmente para as fases de exploração, urbanização, regeneração. Essa correlação é devida a ocorrência dos maiores valores verificados para esses parâmetros, quando a influência marinha é preponderante sobre a diluição das descargas fluviais, como pode ser observado na Figura 3.12. Desta forma, esta informação junto ao eixo principal pode estar subestimada, sendo uma resposta muito mais ligada a dinâmica local natural do que as mudanças relativas às fases ou ao ecótono. Além disso, o ponto *c* da microbacia na fase de conservação não se alinhou a esse eixo, provavelmente, pelo maior volume de água do rio – outra característica natural - que causa uma maior diluição da água na praia, alterando as características halinas dessa região. A Turbidez, parâmetro bastante valorizado no

cálculo dos serviços ecossistêmicos, surge somente no segundo eixo, especialmente para os pontos *b* das microbacias nas fases de Urbanização e Exploração e para o ponto *c* da fase de conservação. Apesar de valorizado com o peso 2 nos cálculos dos serviços, o NTK somente se destaca no terceiro eixo, especialmente sobre os pontos *b* das microbacias de urbanização. Em suma, de acordo com a ACP, há uma variação muito grande de comportamento entre os elementos e nem sempre relacionados ao avanço da deterioração da qualidade ambiental.

Além disso, nem todas as variações observadas pelas métricas têm uma relação significativa com as variações observadas pelos parâmetros de qualidade da água, o que dificulta concluir combinadamente sobre as medidas de degradação em relação às fases e ao ecótono. Para ilustrar essa limitação, a Tabela 3.8 evidencia as correlações significativas ($p < 0,05$) entre as métricas, as florestas em seus respectivos estágios sucessionais e os valores médios (entre os pontos *a* e *c*) padronizados dos parâmetros de qualidade da água relativos aos três eixos provenientes da ACP. O eixo 2 é aquele que mostra correlação com o maior conjunto de métricas, sendo o eixo 1, principal, identificado somente pelo índice de equitatividade, neste caso pouco ilustrativo dos fenômenos relacionados aos parâmetros relativos a esse eixo.

Além disso, o eixo 2 teve uma alta correlação inversa com a métrica densidade de fronteiras, bastante conseqüente da maior presença de COT na microbacia da fase de conservação. Essa constatação nega os estudos de LEE *et al.* (2001) e AMIRI e NAKANE (2009), que descreveram essa métrica com relação direta à degradação da qualidade da água e, conseqüentemente, pela diminuição da oferta de serviços ecossistêmicos. Também se esperava uma relação entre a densidade de fronteiras e o NTK (eixo 3). O estudo desenvolvido por UUEMAA *et al.* (2005) mostrou que com o aumento da densidade de fronteiras, houve uma diminuição dos valores de nitrogênio total, principalmente devido a alta capacidade das paisagens complexas em reter nutrientes. Estes trabalhos demonstraram que não existe um consenso a respeito do efeito ecológico da densidade de fronteiras sobre a qualidade da água.

Em relação aos resultados advindos das métricas, acredita-se que se os cálculos fossem refeitos segmentando-se a paisagem em frações relativas ao alto,

médio e baixo curso, as correlações seriam mais representativas das mudanças constatadas pelos outros capítulos.

Tabela 3. 8. Resultado da correlação entre os eixos da ACP e as métricas da paisagem. Em vermelho as correlações significativas ($p < 0,05$) e, em preto, as tendências fora do nível de significância.

	SEI	MSI	ED	MPS	NumP	AA	FAM a	FM a	FSM a	FM i	FM r, i	FSM i	FSM pio
Eixo1	0,92					0,73		-0,56	-0,95	0,66	0,66	0,63	0,74
Eixo2		-0,89	-0,89	-0,89			-0,88	-0,56			0,50	0,54	
Eixo3	0,71				0,55	0,94			-0,80	0,53	0,78		0,81

NumP: número de manchas; MPS: tamanho médio das manchas; ED: densidade de fronteiras; MSI: índice de forma média; SEI: índice de equitatividade.

AA: área antropizada; FAM a: Floresta Alto Montana no estágio médio/avançado; FM a: Floresta Montana no estágio médio/avançado; FSM i: Floresta Submontana no estágio inicial; FSM a: Floresta Submontana no estágio médio/avançado; FM i: Floresta Montana no estágio inicial; FM r, i: Floresta Montana no estágio inicial com remanescentes; FSM pio: Floresta Submontana pioneira.

Enfim, as limitações deste estudo moderam as conclusões, mas não desvalorizam algumas importantes indicações para avaliação dos serviços como a relação estreita entre a presença de áreas antropizadas e os maiores valores de NTK, que é um grande indicador de impactos humanos (correlação 0,94). Essa relação tem respaldo em diversos estudos como de (MARTINELLI *et al.*, 2010); URIARTE *et al.*, 2010) que encontraram maiores concentrações de nitrogênio nos rios em regiões próximas a aglomerados populacionais. Outro destaque refere-se ao eixo 2, que identifica que quanto maior for o tamanho médio (MPS) e mais complexa a forma (MSI) das manchas de vegetação em estágio médio/avançado, menores serão as quantidades de COT, P-total e Turbidez, especialmente para as microbacias nas fases de urbanização, exploração, conservação e regeneração, confirmando a importância da manutenção das grandes manchas de vegetação em estágios médio-avançados na qualidade da água.

3.4. Conclusão

Este estudo permitiu identificar um conjunto de indicadores de degradação da oferta de serviços ecossistêmicos ligados a qualidade da água, composição e configuração da paisagem, que representam o ecótono costeiro e o gradiente de fases de evolução histórica. Entre os indicadores destacam-se a Turbidez, a Condutividade, o tamanho médio das manchas e a densidade de fronteiras, sendo que os parâmetros de água referenciaram melhor o eixo ecótono e as métricas o eixo das fases de evolução das paisagens. Apesar de promissores, os resultados apresentaram algumas limitações, principalmente no que se refere a capacidade restrita dos indicadores representarem a totalidade de variação de serviços ao longo dos dois eixos. Considera-se um avanço a simulação de cálculo da degradação de oferta de serviços ecossistêmicos, que reflete o valor mais diretamente relacionado aos processos ecológicos e sustentabilidade, em detrimento ao valor monetário que se costuma atribuir aos biomas e ecossistemas.

3.5. Bibliografia

- 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 on Puget
lowland sub-basins. *Landscape Urban Plan.* 80 (4), 345–361. 2007.
- ANDRADE, Daniel Caixeta. Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos: uma
contribuição da economia ecológica. Tese de Doutorado. Faculdade de Economia – IE.
Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Campinas, 195p, 2010.
- AMIRI, B.J.; NAKANE, K. Modeling the linkage between river water quality and landscape
matrices in the Chugoku District of Japan. *Water Resour Manage.* 23: 931-956. 2009.
- APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st ed.
American Public Health Association, Washington, D.C.. 1998.
- AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO (A.M.). Ecossistemas e o bem-estar humano –
Estrutura para uma avaliação. Relatório do Grupo de Trabalho da Estrutura Conceitual da Avaliação
Ecosistêmica do Milênio. São Paulo: Editora do SENAC São Paulo. 2005.
- BAOYING, N. e YUANQING. Tourism development and water pollution: case study in Lijiang
Ancient Town. *China Population, Resources and Environment* 17(5): 123-127. 2007.

- BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A.. Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Rio Grande: Ed. FURG, 166p. 2001.
- BERTOLO, L. S. Medidas de mudança espaço-temporal como fonte de identificação das linhas de evolução de uma paisagem costeira – Estudo de caso: Ilha de São Sebastião – SP. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, 195p, 2009.
- BERTOLO, L.S.; LIMA, G.T.N.P.; SANTOS, R. Proposta metodológica para medidas de direção e intensidade de mudanças da paisagem. Anais do 2º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal. P. 383-391. 2009.
- BERTOLO, L. S.; LIMA, G. T. N. P.; SANTOS, R. F. Spatiotemporal change indexes to identify the historical evolution in a coastal region – case study: São Sebastião Island– SP. Brazilian Journal of Oceanograph, 58, 37-47. 2010.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. Ecologia: de indivíduos a ecossistemas. 4 ed. Porto Alegre: Artmed. 752 p. 2007.
- CADENASSO, M.L. et al. A framework for a theory of ecological boundaries. BioScience, v.53, n.8, p. 750-758, 2003.
- COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Geo-hydroecological responses to historical and present day land use changes in the middle Paraíba do Sul river valley: challenges for a sustainable landscape. In: IALE VII WORLD CONGRESS. Wageningen - Holanda. 2007.
- GERGEL, S.E.; TURNER, M.G.; MILLER, J.R.; MELACK, J.M.; STANLEY, E.H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. Aquat. Sci 64: 118-128. 2002.
- GILLER, K.E.; CADISH, G.; PALM C. The North–South divide! Organic wastes, or resources for nutrient management? Agronomie 22:703–709. 2001.
- GUSTAFSON, E.J. Quantifying landscape special pattern: what's is the state of the art? Ecosystems 1: 143-156. 1998.
- HE, C.; MALCOM, S.B.; DAHLBERG, K.A. e FU, B. A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. Landscape and Urban Planning, 49: 25-34. 2000.
- JOHNSON. L.; RICHARDS, C.; HOST, G. e ARTHUR, J. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystem.. Freshwater Biology, 37: 193-208. 1997.
- KREUTER, U.P.; HARRIS, H.G.; MATLOCK, M.D.; LACEY, R.E. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. Ecological Economics, 39, 333-346. 2001.
- LEE, Sang-Woo; HWANG, Soon-Jin; LEE, Sae-Bom; HWANG, Ha-Sun; SUNG, Hyun-Chan. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. Landscape and Urban Planning, 92, 80-89. 2009.
- LEGENDRE, P. e LEGENDRE, L. Numerical Ecology. Québec, Canadá, Elsevier. 1998.

- MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; RAVAGNANI, E. C.; CAMARGO, P. B.; OMETTO, J. P. H. B.; FILOSO, S.; VICTORIA, R. L. Dissolved nitrogen in rivers: comparing pristine and impacted regions of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, n. 3 Special Issue, p. 709-722. 2010.
- MILANESI, M.A. Avaliação do Efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela-SP). Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Departamento de Geografia – USP, São Paulo, 141p, 2007.
- REMPEL, R.; CARR, A.; ELKIE, P. Patch Analyst 2.2. Disponível em: <http://flash.lakeheadu.ca/~rempel/patch/download.html>, 1998.
- RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2003.
- RIITTERS, K.H.; O'NEILL, R.V.; HUNSAKER, C.T.; WICKHAM, J.D.; YANKEE, D.H.; TIMMINS, S.P.; JONES, K.B.; JACKSON, B.L. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape ecology*, 10(1): 23-29. 1995.
- ROLDÁN-MARTÍN, M.J.; De PABLO, C.L.; MARTÍN De AGAR, P. Landscape mosaics recognition and changes over time: a methodological approach. In: MANDER, U.; ANTROP, M. (Org.). *Multifunctional Landscapes: continuity and change*. Boston: Wit Press, 2003. p. 55-77.
- ROLDÁN-MARTÍN, M.J.; De PABLO, C.L.; MARTÍN De AGAR, P. Landscape changes over time: comparison of land uses, boundaries and mosaics. *Landscape ecology*, v.21, p.1075-1088, 2006.
- SMITH, V.H.; TILMAN, G.D.; NEKOLA, J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystem. *Environmental Pollution*, 100: 179-196. 1999.
- URIARTE, M.; YACKULIC, C.B.; LIM, Y.; ARCE-NAZARIO, J.A. Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. *Landscape Ecology*, 26(8): 1151-1164. 2011.
- UUEMAA, Evelin; ROOSAARE, J.; MANDER, U. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments. *Ecological Indicators*, 5: 350-369. 2005.
- UUEMAA, Evelin; ANTROP, Marc; ROOSAARE, JÜRI; MARJA, RIHO; MANDER, ÜLO. Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Review Landscape Research*, 3, 1-28. 2009.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A., 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 123p.
- VINCENZO, A.; MOLINO, B.; VIPARELLI, R.; CARAMISCIO, P. A methodological approach for estimating turbidity in a river. *International Journal of Sediment Research*, 26: 112-119. 2011.

TUNDISI, J. e TUNDISI, T. Limnologia. São Paulo. Oficina de Textos. São Paulo. 632p. 2008.

WANG, Z.M.; ZHANG, B.; ZHANG, S.Q.; LI, Z.Y.; LIU, D.W.; SONG, K.S.; LI, J.; DUAN, H.
Changes of land use and of ecosystem services value in Sanjiang Plain, Northeast China.
Environmental Monitoring and Assessment 112, 69-91. 2006.

WEAR, D. N., TURNER, M. G.; NAIMAN, R. J..Land cover along an urban-rural gradient:
implications for water quality. Ecological Applications 8, 619–630. 1998.

4. Considerações finais

Este estudo mostrou que as perdas de serviços ecossistêmicos podem ser interpretadas pela avaliação das mudanças da paisagem ao longo do tempo, mesmo em escala generalizada, desde que sejam identificadas as principais forças motoras de mudança da paisagem. Essas forças não atuam de forma igual sobre o território e geram bacias hidrográficas em diferentes fases de evolução histórica. Além disso, a avaliação da complexidade estrutural de cada porção territorial permitiu reconhecer que cada fase histórica tem seu próprio vetor, com sua área específica de influência e seu padrão de fragmentação.

Um serviço ecossistêmico, ou um conjunto deles, quando calculado pela tabulação cruzada dentro do gradiente de fases permite constatar a sua real degradação, que é mascarada quando o mesmo serviço ou conjunto de serviços ecossistêmicos são calculados apenas pelas áreas mapeadas em dois períodos distintos. Por outro lado, quando a análise foi feita sob o prisma da conservação florestal, as microbacias em diferentes fases de evolução histórica puderam melhores relacionadas às métricas tamanho médio das manchas (composição) e densidade de fronteiras (configuração).

Em relação aos serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos, foi possível constatar que não houve uma correspondência direta entre fases, estrutura da paisagem e qualidade da água. Ainda assim, Turbidez e Condutividade foram bons indicadores da composição e da configuração da paisagem.

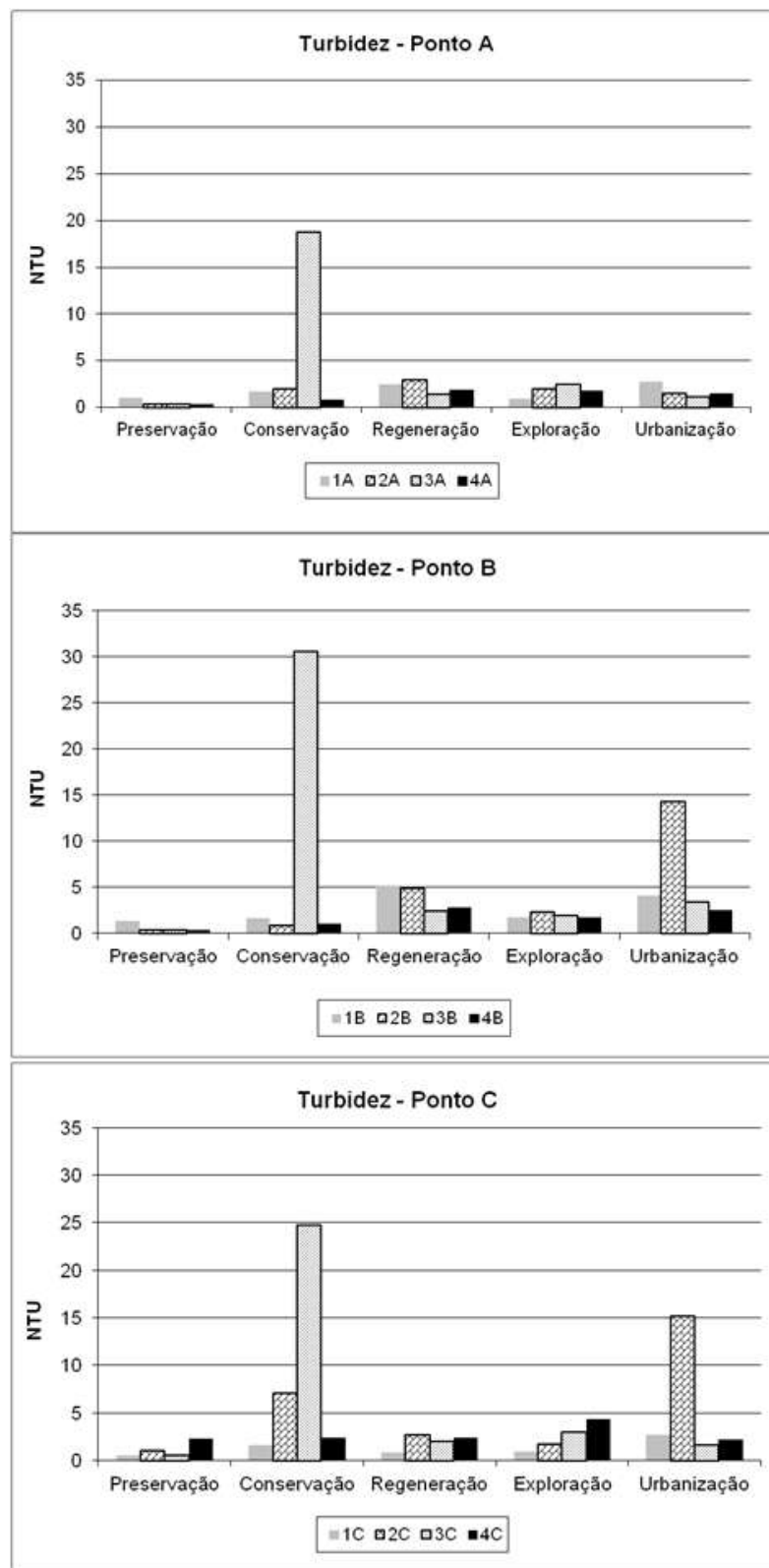
Todas as relações medidas entre as mudanças de uso, a atuação das forças e os impactos ao longo do tempo permitiram afirmar que a quantidade de floresta não possibilita concluir generalizadamente sobre a qualidade, muito menos sobre os serviços ecossistêmicos disponíveis, pois a cobertura florestal detém diferentes sinais da história e de impactos cumulativos em cada porção territorial, o que conduz a quadros específicos de oferta de serviços.

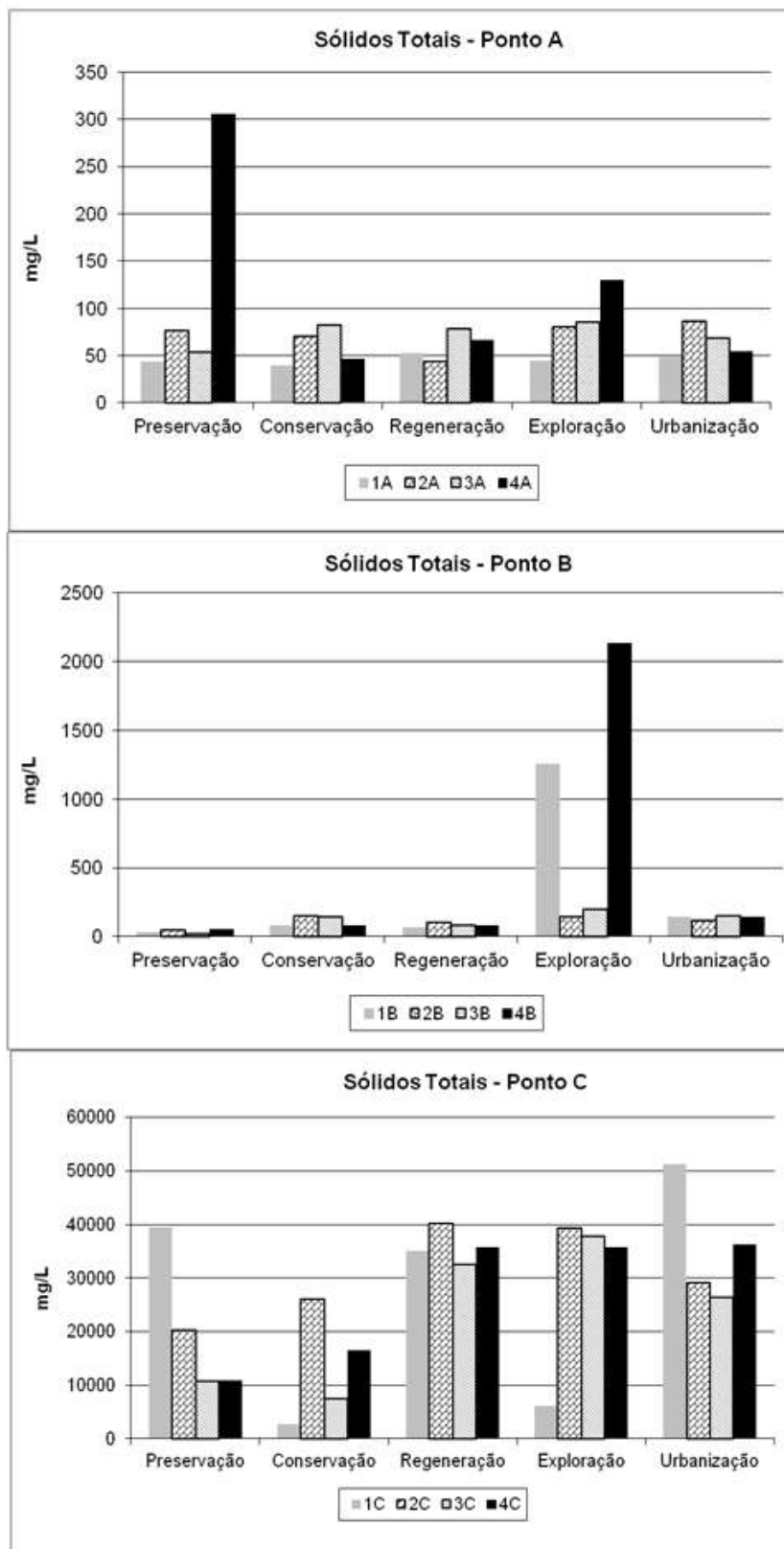
Considera-se que a simulação de cálculo da degradação de oferta de serviços ecossistêmicos apresentada neste estudo, que refletiu o valor mais diretamente

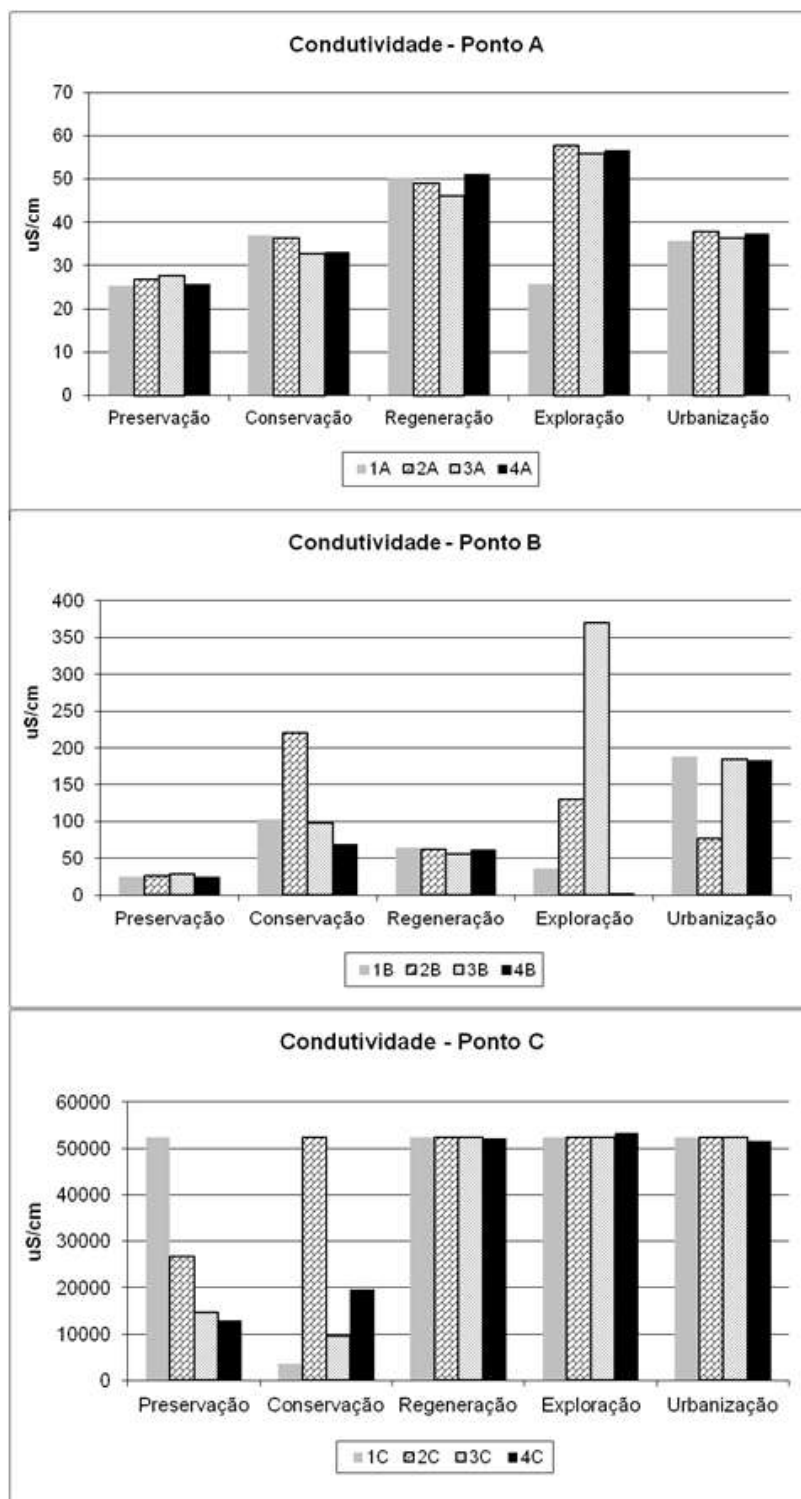
relacionado aos processos ecológicos e de sustentabilidade em detrimento ao valor monetário que se costuma atribuir aos biomas e ecossistemas. Nesse sentido, essa proposta foi um avanço em termos de procedimento metodológico, mais condizentes com a lógica e a ética dos princípios da conservação ambiental.

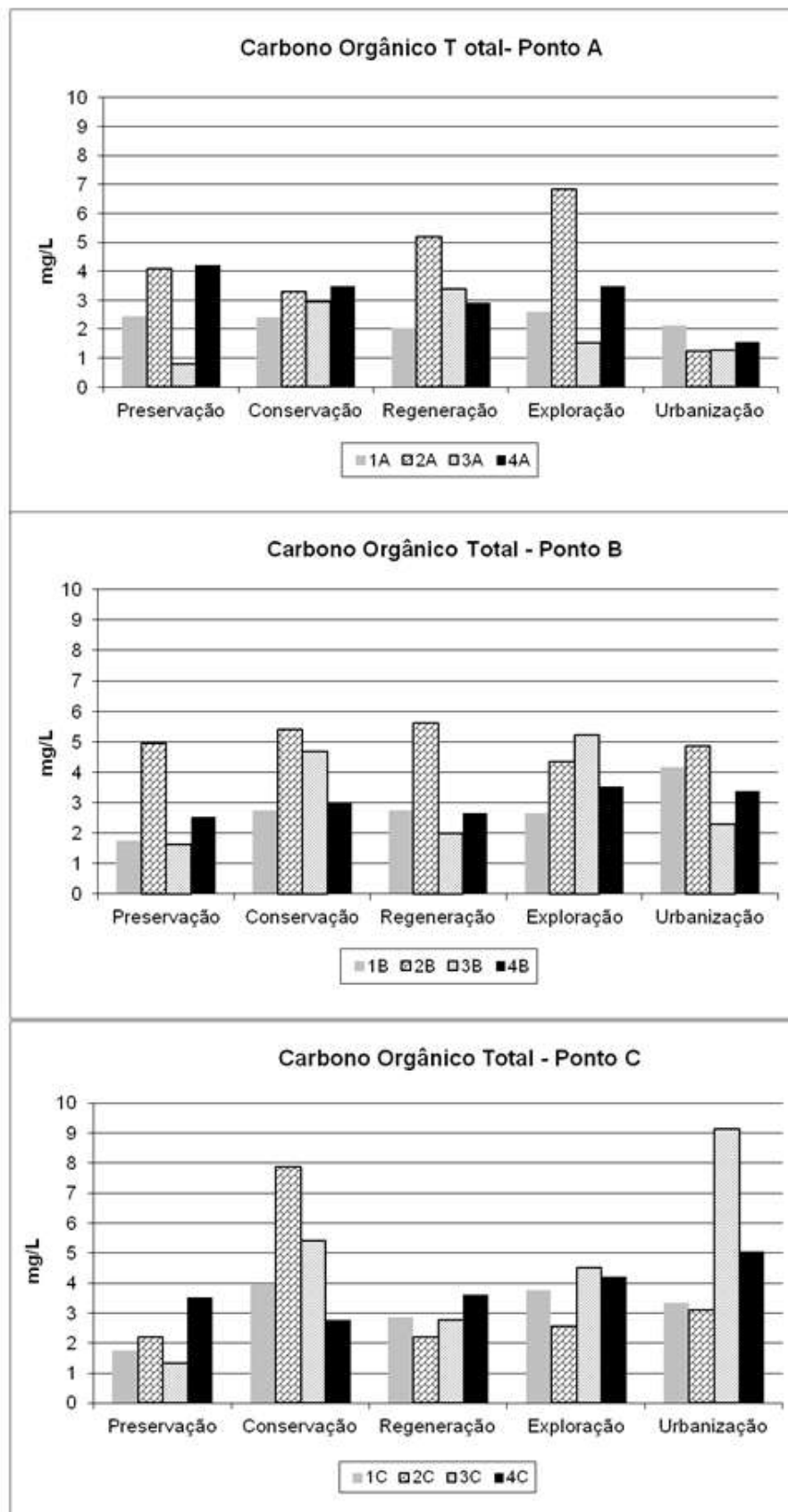
ANEXOS

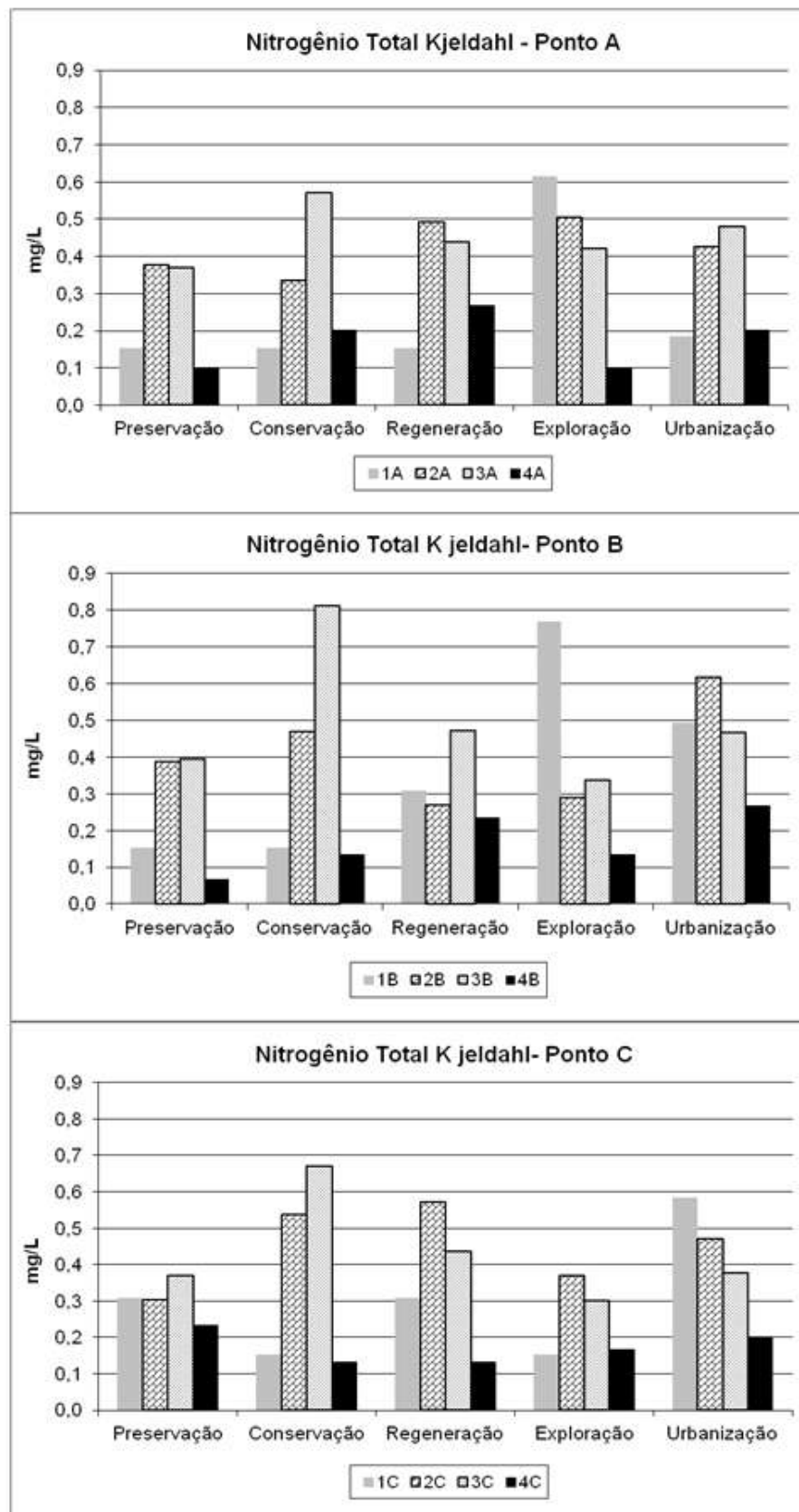
ANEXO 1 – Valores dos Parâmetros de Qualidade de Água obtidos ao longo das quatro campanhas amostrais nos três pontos de amostragem dos rios das cinco microbacias analisadas.

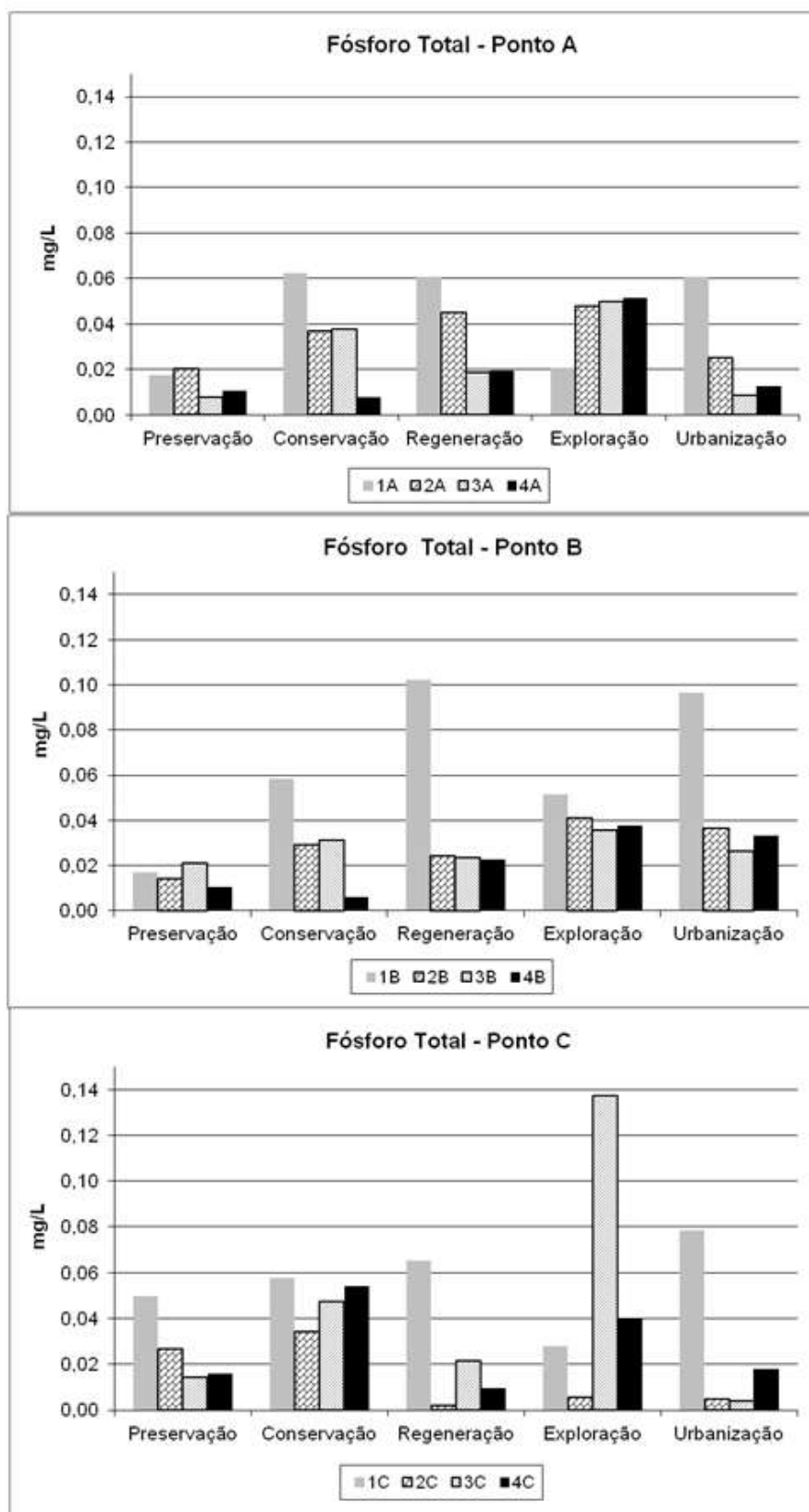


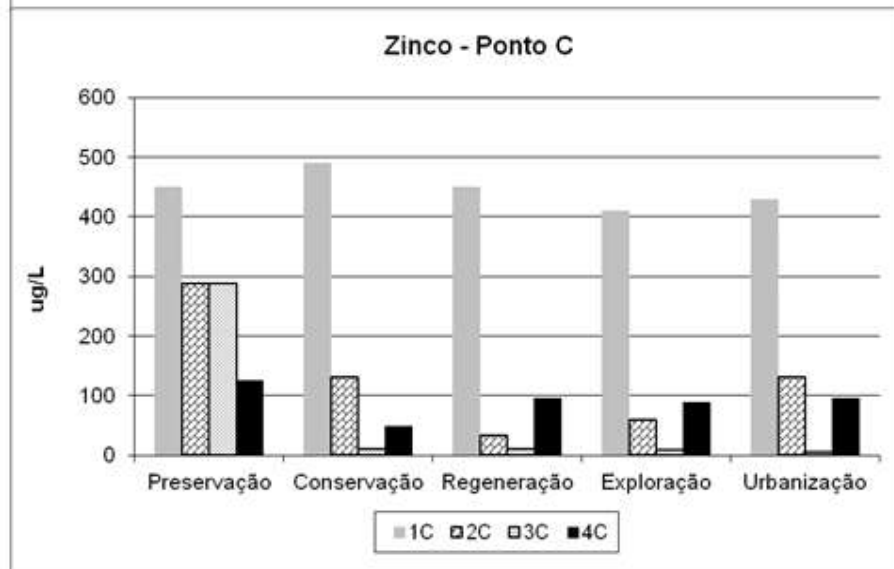
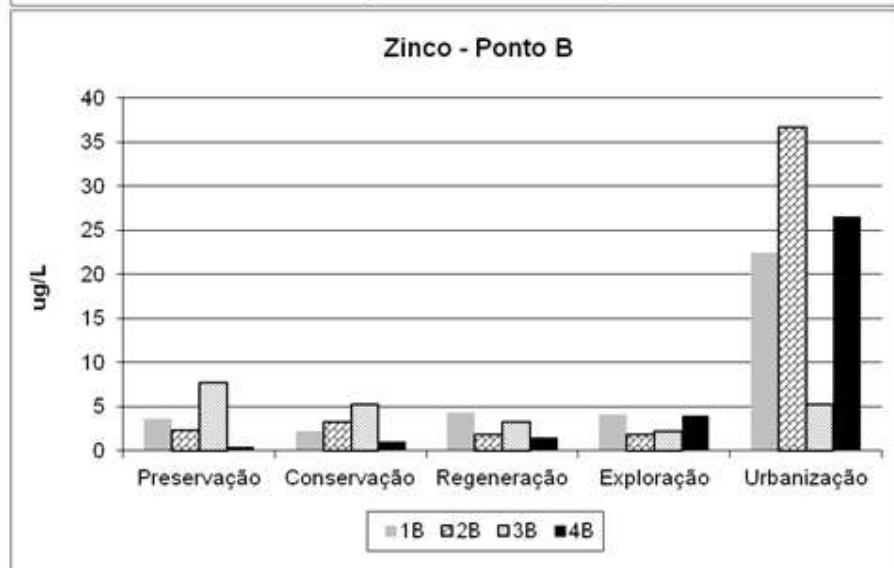
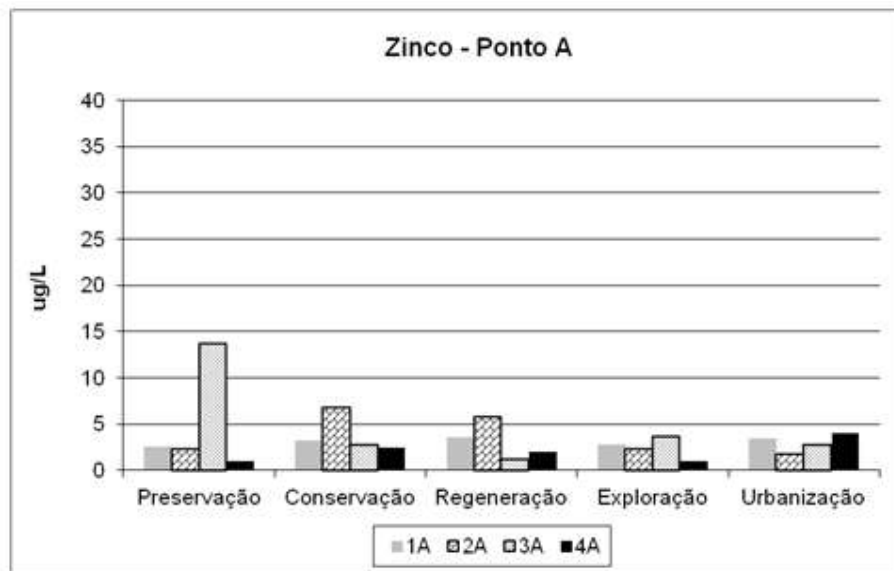












ANEXO 2 – Resultados tabelados obtidos do cálculo da degradação dos serviços ecossistêmicos para as métricas da paisagem ao longo do gradiente de fases, dos Parâmetros de Qualidade da Água e da somatória das métricas e Parâmetros de Qualidade da Água para cada trecho do ecótono e a sua respectiva somatória.

	Parâmetros de Qualidade de Água (PQA)				
Ponto a	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	2,4	4,8	6,7	7,1	3,6
Controle de erosão	0,1	1,6	3,0	2,7	1,5
Recreação e ecoturismo	2,4	4,8	6,7	7,1	3,6
Total PQA	5,0	11,2	16,3	16,9	8,6
Ponto b	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	2,1	5,4	6,7	9,0	11,8
Controle de erosão	0,1	2,3	4,4	5,7	6,7
Recreação e ecoturismo	2,1	5,4	6,7	9,0	11,8
Total PQA	4,3	13,0	17,7	23,6	30,3
Ponto c	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	7,5	12,8	9,9	11,0	10,1
Controle de erosão	4,5	8,0	6,5	7,3	6,2
Recreação e ecoturismo	7,5	12,8	9,9	11,0	10,1
Total PQA	19,5	33,6	26,3	29,3	26,3
	Área ocupada por Florestas				
Ponto a	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Controle de erosão	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Recreação e ecoturismo	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Total	3,2	6,2	10,7	11,2	16,2
Ponto b	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Controle de erosão	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Recreação e ecoturismo	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Total	3,2	6,2	10,7	11,2	16,2
Ponto c	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Controle de erosão	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Recreação e ecoturismo	1,1	2,1	3,6	3,7	5,4
Total	3,2	6,2	10,7	11,2	16,2

	Métricas da paisagem				
Ponto a	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Controle de erosão	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Recreação e ecoturismo	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Total	18,4	23,8	38,0	31,0	33,4
Ponto b	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Controle de erosão	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Recreação e ecoturismo	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Total	18,4	23,8	38,0	31,0	33,4
Ponto c	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Controle de erosão	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Recreação e ecoturismo	6,1	7,9	12,7	10,3	11,1
Total	18,4	23,8	38,0	31,0	33,4
	Valores totais				
Ponto a	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	9,6	14,8	22,9	21,2	20,1
Controle de erosão	7,3	11,6	19,2	16,8	18,0
Recreação e ecoturismo	9,6	14,8	22,9	21,2	20,1
Total	26,6	41,2	65,0	59,2	58,2
Ponto b	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	9,3	15,4	22,9	23,1	28,3
Controle de erosão	7,3	12,3	20,6	19,7	23,2
Recreação e ecoturismo	9,3	15,4	22,9	23,1	28,3
Total	25,9	43,0	66,4	65,9	79,9
Ponto c	Preservação	Conservação	Regulação	Exploração	Urbanização
Provisão de água (consumo)	14,7	22,8	26,2	25,1	26,6
Controle de erosão	11,7	18,0	22,7	21,3	22,7
Recreação e ecoturismo	14,7	22,8	26,2	25,1	26,6
Total	41,1	63,6	75,0	71,5	76,0