UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

JAIME ENRIQUE DE JESÚS BADEL MOGOLLÓN

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DOS
FRAGMENTOS DE MACIÇOS FLORESTAIS DA PLANÍCIE
COSTEIRA E BAIXA ENCOSTA
DO MUNICÍPIO DE BERTIOGA (SP)**

VERSÃO CORRIGIDA
O Exemplar original encontra-se no CAPH
(CAPH- Centro de Apoio à Pesquisa em História)

SÃO PAULO
2012

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA**

JAIME ENRIQUE DE JESÚS BADEL MOGOLLÓN

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DOS
FRAGMENTOS DE MACIÇOS FLORESTAIS DA PLANÍCIE
COSTEIRA E BAIXA ENCOSTA
DO MUNICÍPIO DE BERTIOGA (SP)**

**SÃO PAULO
2012**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA**

JAIME ENRIQUE DE JESÚS BADEL MOGOLLÓN

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DOS
FRAGMENTOS DE MACIÇOS FLORESTAIS DA PLANÍCIE
COSTEIRA E BAIXA ENCOSTA
DO MUNICÍPIO DE BERTIOGA (SP)**

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a CELIA REGINA DE GOUVEIA SOUZA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para Obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Geografia Física.

SÃO PAULO
2012

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Jaime Enrique de Jesús Badel Mogollón

Título do Trabalho: Avaliação da sustentabilidade ambiental dos fragmentos de maciços florestais da planície costeira e baixa encosta do município de Bertioga (SP)

Natureza do Trabalho: Tese

Grau Pretendido: Doutor em Ciências

Instituição: Universidade de São Paulo

Área de Concentração: Geografia Física

Orientadora: Celia R. de G. Souza

São Paulo

Ano de Depósito: 2012

Volumes: 01

Data de Aprovação _____

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Celia Regina de Gouveia Souza (IG-SMA; FFLCH-USP)

Banca Titular

Profa. Dra. Déborah de Oliveira (Depto. Geografia, FFLCH-USP)

Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira (Depto de Geografia – UFPR)

Prof. Dr. Jorge Gustavo da Graça Raffo (Depto. Geografia, FFLCH-USP)

Dr. Márcio Rossi (Instituto Florestal do Estado de São Paulo/SP)

Banca Suplente

Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira (Depto de Geografia – FFLCH-USP)

Prof. Dr. Irani dos Santos (Depto de Geografia – UFPR)

Profa. Dra. Cleide Rodrigues (Depto de Geografia – FFLCH-USP)

À S. S. Shri Mataji Nirmala Devi.

À minha esposa Lynda, meu neneco Martín

E à minha nenecota Janine, com todo meu amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha Mãe, quem em cada meditação me guia e me lembra de que tudo é feito só pelo amor.

Agradeço à minha família: Minha esposa Lynda tamayo Arango, pelo apoio incondicional. Obrigado por sempre acreditar em mim, e por sua amizade, apoio, paciência e amor. Agradeço a meus filhos, pelo amor, e por serem a fonte de minha inspiração. Só um olhar deles faz minha vida feliz.

Aos meus irmãos do Ashram de São Paulo, por seu imenso carinho, e em especial ao Bira, quem foi meu grande apoio nos tempos finais desta empreitada... mas todos eles são minha família... Para eles todo meu amor. E a esse belo e divertido povo brasileiro, que abre as portas com o coração na mão e o sorriso na boca.

Um especial agradecimento ao meu mentor, o Dr. Luis Carlos García Lozano, esse grande mestre da ecologia que, apesar de todas suas ocupações, sempre teve tempo para essas longas conversas em que me mostrava de maneira erudita esse maravilhoso mundo desde uma óptica que nunca vi em mais ninguém.

À equipe de trabalho, Daniel e meu irmão Felipe, pois foram fundamentais nos trabalhos de campo, e dividiram comigo sua experiência acadêmica. Entre eles esteve Agenor, esse grande homem quem seu maior ensino é ele mesmo. Uma pessoa digna de admiração. Sua presença ensina que a humildade pode ir da mão com a sabedoria.

À Profa. Dra. Celia Regina de Gouveia Souza, pela dedicação em orientar, por dividir comigo seu conhecimento e experiência, nos momentos bons e nos difíceis. A ela se devem os conselhos

para os acertos desta tese, cabendo só para mim os erros e equivocções. Profa, obrigado por acreditar em mim, tem sido uma experiência inesqueável. Por isso e mais, sempre serei muito grato.

Meu profundo agradecimento a Eliave (Elí), quem não teve reparos em se aventurar comigo dentro desse mato que é só para loucos.... E foi uma aventura mesmo!. Eu comecei trabalhando com um ajudante e terminei com um grande amigo. Elí me disse uma vez: “graças a você, agora eu conheço mais a terra que pisam meus pés”, mas, meu amigo, eu te respondo: sempre foi você quem ia abrindo o caminho. Sem você, nunca teria conseguido.

Agradeço às professoras da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Antioquia, Dra. Liliana Mahecha Ledesma e Dra. Nérida Rodríguez, pelo seu apoio e confiança durante meu estágio de doutorado com essa Instituição.

Ao CNPq, por tornar a realização deste trabalho possível através da bolsa de doutorado (processo 143562/2008-8), e à FAPESP, por tornar a realização deste trabalho possível através do suporte financeiro ao projeto “Caracterização Ambiental Integrada, Risco Ecológico e Suscetibilidade Ambiental dos Sub-Biomas Remanescentes de Planície Costeira e Baixa-Média Encosta no Município de Bertioga (SP)”, processo 2008/58549-0, o qual este trabalho está inserido.

Por último, disse Sócrates no seu diálogo com o Téetete: “a ignorância é um estado de enchimento, não de carência”... Minha esperança é que este trabalho, mais do que encher de conhecimento, desperte mais perguntas que respostas, mais dúvidas que afirmações, mais debate que dogmas, e, se tudo isso falha, acho que valeu a pena se despertou pelo menos a curiosidade de alguém...
Algum dia.

E como disse Sílvia, eu vim aqui para perguntar, saber não pode ser luxo.

RESUMO

A zona costeira paulista alterna extensas zonas de grande diversidade de biótopos, com outras de intensa degradação ambiental. Essas características são observadas no município de Bertioga e seus maciços florestais, localizados entre as bacias hidrográficas dos rios Itaguapé e Guaratuba. Por suas características especiais, essas bacias em conjunto receberam a denominação de Sistema Bertioga.

Este trabalho pretendeu mapear o panorama da região sob a perspectiva do planejamento ecológico, com a finalidade de dar elementos teóricos e práticos para proteger, reparar e/o desenvolver a natureza e a paisagem cênica desse território.

Nesse contexto foi avaliada a sustentabilidade ambiental desse sistema, a partir da análise de risco ecológico e a sensibilidade às mudanças ambientais dos diferentes ecótopos presentes. Para atingir essa meta, foi elaborado um inventário dos recursos naturais do território (biológicos, climáticos, hídricos, edáficos) para todo o sistema, e, com esses elementos, estabelecer um zoneamento ambiental do território, segundo critérios de proteção, reparação e desenvolvimento (manejo) para as diferentes formações vegetais.

Foi realizado um refinamento espacial tanto dos ambientes sedimentares como dos ecótopos estudados, e foi quantificado o grau de artificialização do sistema. Um cruzamento dessa informação permitiu propor um sistema de classificação da cobertura vegetal baseado nos grupos funcionais observados. Com base nessa classificação, foi feito um agrupamento das geoformas que ajudasse a entender sua incidência sobre a disposição espacial dos ecótopos.

Foi possível realizar uma primeira aproximação sobre o funcionamento hidráulico do sistema, e sugerir as características do pulso hidrossedimentológico que rege o mesmo. Por outra parte, foram confeccionados mapas probabilísticos das características físico-químicas

das águas subsuperficiais do sistema, com base na medição do lençol freático em uma série temporal. Foram definidas as características das águas superficiais e sua incidência no sistema.

Foram confeccionados mapas probabilísticos dos diferentes tipos de solos, com os quais foram definidas algumas linhas gerais de sua evolução e os elementos críticos que afetariam sua conservação, tanto do ponto de vista da estabilidade da sua estrutura superficial como de suas características físico-químicas.

Por fim, com base em toda a informação compilada foi possível propor uma mapa de objetivos ambientais zonificados, classificados em Zonas Prioritárias para a preservação do Meio Ambiente e em Zonas Preferenciais para o desenvolvimento equilibrado do Meio Ambiente.

Palavras-chave: Planejamento ecológico, risco ecológico, meio ambiente, planície costeira, pulso hidrosedimentológico, solos.

ABSTRACT

The São Paulo coastal zone alternates extensive zones of great diversity of biotopes with others intensively degraded. These characteristics are observed in the municipality of Bertioga and its forest regions localized among Itaguapé and Guaratuba river basins. Due to their special characteristics these basins are denominated Bertioga System.

The aim of this work was to map the region scenario under the perspective of ecological planning in order to give the theoretical and practical elements to protect, repair and/or develop the nature and the landscape of this territory.

In this context, the environmental sustainability of the system was evaluated using the ecological risk analysis and the sensibility to environmental changes to the different ecotopes. An inventory of the territory natural resources for all the system was performed (biologic, climatic, hydric, edaphic), from which an environmental zone division of the territory following criteria of protection, reparation and development (management) for all the vegetal formations.

A spatial refinement of both sedimentary environment and ecotopes was performed, as well as the quantification of the artificialization grade of the system. An exchange of that information was the base to propose a classification system of the vegetation cover based on observed functional groups. A geoshape clustering was performed to help in the understanding of its incidence on the ecotopes spatial disposition.

It was possible to perform a first approach about the hydraulic functioning of the system and to suggest the hidrosedimentological pulse characteristics that rule the system. On the other hand, probabilistic maps of the physical and chemical characteristics of the subsuperficial waters of the system were made, on the basis of the freatic level in a temporal

series. The characteristics of the superficial waters and their incidence on the system were also defined.

Probabilistic maps of soil types were made, which were used to define some general lineaments about their evolution and the critical elements that could affect its conservation from two points of view: superficial structure stability, and physical and chemical characteristics.

Finally, a zone division map of ambient objectives was proposed. Those ambient objectives were classified in Priority Zones for the preservation of the environment and Preferential Zones for the balanced development of the environment.

Key words: Ecological planning, ecologic risk, environment, coastal plain, hydrosedimentologic pulse, soils.

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	vi
Índice temático	viii
Índice de figuras	xii
Índice de tabelas	xiv
Anexos	xvi

ÍNDICE TEMÁTICO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 antecedentes	2
1.2. Contexto normativo	4
1.3.Hipótese de estudo	4
1.4.Objetivos	5
1.4.1. Geral	5
1.4.2. Específicos	5
2. ABORDAGEM CONCEITUAL	6
2.1.O contexto sistêmico da pesquisa	7
2.2. Contexto geográfico do sistema.	7
2.3. Contexto geológico – sedimentológico	8
2.3.1. Aspectos básicos da geologia e sedimentogologia das unidades quaternárias da planície costeira de Bertioga	8
2.3.2. Quantificação da perda da estrutura superficial e subsuperficial das unidades quaternárias da planície costeira pelo processo de artificialização do espaço.	11
2.4. Contexto edafológico do sistema.	12
2.4.1. Análise da cobertura pedológica.	12
2.4.2. Análise da variação físico-química da camada superficial dos solos.	15
2.4.3. Estabilidade estrutural da superfície do solo.	17
2.5. Contexto Ramsar da planície costeira	17
2.6. Aspectos climáticos do Sistema Bertioga.	19
2.7. Funcionamento hidráulico e hidrologia da planície costeira.	20
2.7.1. O comportamento pulsátil do sistema Bertioga	20

2.7.2.	Medição do pulso do sistema Bertioiga.	20
2.7.3.	Aspectos ecológicos envolvidos no pulso hidrosedimentológico	22
2.7.4.	Conectividade dos subssistemas	25
2.7.5.	Elasticidade do sistema	25
2.8.	Conceitos básicos sobre as variáveis químicas relacionadas com as águas	26
2.8.1.	Variáveis físico-químicas das áreas estuarinas dos rios Guaratuba e Itaguapé	28
2.8.2.	Caracterização das águas subsuperficiais do sistema Bertioiga	29
2.9.	Contexto ecossistêmico da planície costeira e baixa encosta.	30
2.9.1.	Classificação.	30
2.9.2.	Mapeamento das formações vegetais	34
2.9.3.	Proposta de classificação da cobertura vegetal com base no NDVI relativo	34
2.9.4.	Agrupamento das geoformas e tecnogeoformas da planície costeira e baixa encosta, com base no ndvi relativo.	37
2.10.	Avaliação ambiental do território	38
3.	ÁREA DE ESTUDO	40
3.1.	Localização	41
3.2.	Diferenciação zonal.	41
3.3.	A bacia do rio Guaratuba	42
3.4.	A bacia do rio Itaguapé	43
4.	ABORDAGEM METODOLÓGICA	44
4.1.	Levantamento de informação e processamento de dados	45
4.1.1.	Marco geral.	45
4.2.	Processamento e análise de dados com base em SIG.	47
4.2.1.	Roteiro da pesquisa.	47
4.2.2.	Nível de compilações.	48

4.2.3. Nível de correlações.	48
4.2.4. Nível semântico.	48
4.2.5. Nível normativo.	49
4.3. Métodos adotados para a contextualização espacial dos ambientes sedimentares	49
4.3.1. Refinamento espacial dos ambientes sedimentares	49
4.3.2. Trabalho de campo e processamento de dados	54
4.3.3. Método adotado para a contextualização espacial dos solos.	57
4.3.4. Análise físico-química de solos	60
4.3.5. Método de avaliação da estabilidade da estrutura superficial do solo	64
4.3.6. Método de levantamento de informação hídrica e hidrológica	67
4.3.7. Método para a análise da pluviosidade e balanço hídrico (BHC)	69
4.3.8. Método para a medição da conectividade dos subssistemas	70
4.3.9. Método para a medição da elasticidade do sistema	71
4.3.10. Método de análise das variáveis químicas relacionadas com as águas	72
4.3.11. Classificação das áreas estuarinas de Guaratuba e Itaipu	78
4.3.12. Levantamento de informação sobre vegetação e paisagem.	81
4.3.13. Método adotado para a contextualização espacial das geoformas	83
4.3.14. Método adotado para a avaliação ambiental do território	84
4.3.15. Valoração dos componentes na avaliação ambiental do território	87
4.3.16. Valoração do risco ecológico (RE).	94
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO – INVENTÁRIO TERRITORIAL	95
5.1. Resultados	96
5.1.1. Refinamento espacial dos ambientes sedimentares	96
5.1.2. Proposta de classificação de grupos funcionais de vegetação com base no NDVI relativo	100
5.1.3. Tipificação de fitofisionomias	104
5.1.4. Aspectos climáticos relacionados com a hidrologia do sistema	106
5.1.5. Resultados sobre o funcionamento hidráulico e hidrologia da planície costeira.	114
5.1.6. Resultados das medições do pulso hidrossedimentológico,	

Subssistema Guaratuba.	117
5.1.7. Resultados das medições do pulso, subssistema Itaguaré.	119
5.1.8. Elasticidade do Sistema Bertioga	122
5.1.9. Resultados sobre a caracterização físico-química das águas superficiais	123
5.1.10. Resultados sobre a caracterização das águas subsuperficiais do Sistema Bertioga	130
5.1.11. Variação físico-química das águas subsuperficiais	132
5.1.12. Resultados da contextualização espacial dos solos	140
5.1.13. Resultados da relação entre os solos e os ecótopos	144
5.1.14. Resultados sobre a análise físico-química dos solos	145
5.1.15. Estabilidade da estrutura superficial do solo	151
5.1.16. Quantificação da extensão percentual da transformação das UQs em TGFs e qualificação da alteração da paisagem.	155
5.1.17. Agrupamento das geoformas e tecnogeoformas	158
5.2. Discussão	159
5.2.1. Refinamento dos ambientes sedimentares.	159
5.2.2. Proposta de classificação de grupos funcionais de vegetação com base no NDVI relativo	159
5.2.3. Origem da Floresta Paludosa Antrópica (FPan) ao interior da planície costeira	161
5.2.4. Hidrologia e dinâmica e comportamento pulsátil do Sistema Bertioga	162
5.2.5. Contextualização espacial dos solos	166
5.2.6. Relação entre solos e ecótopos	167
5.2.7. Variabilidade química dos solos	169
5.2.8. Geoformas – tecnogeoformas	172
5.2.9. Estabilidade da estrutura superficial do solo	173
6. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO TERRITÓRIO	175
6.1. Sensibilidade ecológica do sistema	176
6.1.1. Componente Hidrologia/clima.	176
6.1.2. Componente Solos, subcomponentes tipo de solo, estabilidade da estrutura superficial do solo e química de solos	179
6.1.3. Componente Vegetação e paisagem	181

6.2.	Valoração da intensidade potencial de efeitos	182
7.	EMIÇÃO DO CONCEITO REITOR	184
7.1.	Objetivos ambientais zonificados	185
7.2.	Medidas corretivas	187
8.	CONCLUSÕES	189
8.1.	Sobre os resultados obtidos	190
8.2.	Propostas metodológicas	198
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	201

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Abordagem conceitual esquematizada.	3
Figura 2.	Mapa de Unidades Geológicas Quaternárias de Planície Costeira e Baixa Encosta das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba	9
Figura 3.	Representação gráfica da sequência de pulso	21
Figura 4.	Adaptação esquemática da movimentação de nutrientes e energia entre os ambientes terrestre e aquático	27
Figura 5.	Limites da área estuarina conforme diversos autores	28
Figura 6.	Variação na área basal das florestas presentes nos sub-biomas com substrato de origem marinha e continental	33
Figura 7.	Mapa de Vegetação de Planície Costeira e Baixa Encosta das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba	35
Figura 8.	Área de estudo	41
Figura 9.	Abordagem metodológica do projeto	46
Figura 10.	Roteiro da investigação	47
Figura 11.	MDE mostrando a variação da altitude da planície costeira e baixa encosta de Bertioja	52
Figura 12.	Estações geodésicas localizadas na área de trabalho	53
Figura 13.	Pontos de amostragem de solos, medições do lençol freático e de dados físico-químicos das águas subsuperficiais	54
Figura 14.	Setorização adotada para o Sistema Bertioja	56

Figura 15. Amostragem de solos e Sequência dos horizontes	57
Figura 16. Método de implantação de trincheiras em um estudo de topossequência	58
Figura 17. Padrões de difração das partículas	64
Figura 18. Aspecto do padrão de difração da luz a respeito do tamanho da partícula	65
Figura 19. Detalhe do processo de instalação dos piezômetros e medição dos parâmetros físico-químicos das águas subsuperficiais	68
Figura 20. Pontos de amostragem para a medição do lençol freático e as variáveis físico-químicas	73
Figura 21. Tábua de classificação de amostras para nascentes e águas subterrâneas	77
Figura 22. Rede trófica típica dos sistemas estuarinos	80
Figura 23. Estrutura da Avaliação do Risco Ecológico (ARE)	88
Figura 26. Grau de alteração da paisagem esperada	93
Figura 27. Classes de Altitude observadas na planície costeira e baixa encosta de Bertioga	97
Figura 28. Mapa temático das UQs refinadas	98
Figura 29. Resultado final do refinamento das Unidades quaternárias para a área de estudo	99
Figura 30. Valores de NDVI para Bertioga, cenas da plataforma CBERs_2	100
Figura 31. Visualização fuzzy do NDVI da planície costeira e baixa encosta de Bertioga	101
Figura 32. Classes de NDVI relativo propostos para a planície costeira e baixa encosta de Bertioga de acordo com a modelagem fuzzy	101
Figura 33. Área ocupada por cada classe de cobertura vegetal e sua relação percentil	103
Figura 34. Mapa temático das classes de NDVI e Classificação funcional de tipos de cobertura vegetal	104
Figura 35. Ecótopos do Sistema Bertioga, subssistemas Itaguapé e Guaratuba	105
Figura 36. Série histórica de Pluviosidade mensal no município de Bertioga	108
Figura 37. Séries temporais para precipitação acumulada baseada no sensor TRMM bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba	109
Figura 38. Curva sinusoidal de evapotranspiração, e Média amostral e média histórica mensal para a Bacia do Rio Guaratuba	109
Figuras 39- 40. Curva de variação vertical do nível do lençol freático (NA) nas diferentes unidades geológicas insertas na planície	110

Figura 41. BHC Normal e sequencial para a bacia do Rio Guaratuba	111
Figura 42. Box & Whisker Plot da Mediana, o Mínimo e Máximo da pluviosidade registrada no município de Bertiooga, série histórica de 1970-1994	113
Figura 43. Relação entre a pluviosidade anual entre 1970 e 1994, e a ocorrência do “El Niño” e “La Niña”	113
Figura 44. Proposta de funcionamento hidráulico da planície costeira de Bertiooga	115
Figura 46. Gráfico dos pulsos entre 2000 e 2011 para o Rio Guaratuba	117
Figura 47. Histograma de frequências da série pluviométrica entre 2000 e 2011, de acordo com as médias mensais, para o subssistema Guaratuba	119
Figura 48. Pulsos entre 2000 e para o Rio Itaguaré	120
Figura 49. Histograma de frequências da série pluviométrica entre 2000 e 2011, de acordo com as médias mensais, para o subssistema Itaguaré	121
Figura 50. Determinação de inundação extrema através de imagens de satélite	122
Figura 51. Delimitação geométrica das áreas estuarinas dos rios Guaratuba e Itaguaré	124
Figura 52. Perfil das variáveis físico-químicas, área estuarina do rio Guaratuba	125
Figura 53. Perfil das variáveis físico-químicas, área estuarina do rio Itaguaré	128
Figura 63. Mapa probabilístico das áreas ocupadas pelos diferentes tipos de solos	141
Figura 64. Mapa booleano das áreas ocupadas pelos diferentes tipos de solos	142
Figura 69. Médias, mínimos e máximos das frequências observadas nas UQs	157
Figura 70. Dendrograma do agrupamento das geoformas/tecno-geoformas	158

INDICE DE TABELAS

Tabela 1. Síntese das características das associações UQ/Vegetação de planície costeira e baixa encosta e os Solos presentes	10
Tabela 2. Eventos do rio e da planície associados aos atributos da <i>f</i> FITRAS	24
Tabela 3. Relação espacial entre os ecótipos e as características litológicas, geomorfológicas e pedológicas no Sistema Bertiooga.	37
Tabela 4. Relação aproximada entre V%, pH em CaCl ₂ , e m%	62
Tabela 5. Intervalos de referência para interpretação de fertilidade do solo	62
Tabela 6. Designações para os valores da assimetria propostos por Folk (1957)	66
Tabela 7. Informação relativa ao processo de coleta dos dados físico-químicos da água, rios Guaratuba e Itaguaré	74

Tabela 8. Intervalos de temperatura para os valores esperados de saturação de OD em função da salinidade	75
Tabela 9. Intervalos de concentração de sólidos totais dissolvidos (STD)	78
Tabela 10. Critérios de classificação da estrutura salina	78
Tabela 11. Classificação funcional de tipos de cobertura vegetal para Bertioiga de acordo com os quantis de NDVI observados	83
Tabela 12. Fatores relacionados com o componente clima	85
Tabela 13. Tipos de dados para a análise do componente Águas	86
Tabela 14. Inventário do componente solo para este trabalho	87
Tabela 15. Valores do coeficiente de Cramer (V) significantes	98
Tabela 16. Classificação funcional sintética de tipos de cobertura vegetal para Bertioiga, de acordo com os quantis de NDVI observados	102
Tabela 17. Área ocupada pelas classes de cobertura vegetal	103
Tabela 18. Estatísticos da pluviosidade em Bertioiga	107
Tabela 19. Elasticidade relativa do Sistema Bertioiga	123
Tabela 20. Estatística descritiva da fração granulométrica superficial (0-20cm) das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba	152
Tabela 21. Valores dos componentes dos semivariogramas para os atributos estudados	152
Tabela 22. Índice de separabilidade das partículas para os biótopos estudados	155
Tabela 23. Tamanho das UQ's e TGF's e valores de alteração da paisagem	156
Tabela 24. Estatística descritiva das frequências das UQ's, de acordo com a sua distribuição original vs. Atual	157
Tabela 25. Frequências observadas vs. esperadas das UQ's transformadas em tecno-geoformas	157
Tabela 26. Valores da SE dos subcomponentes e atributos do pulso hidrossedimentológico durante a potamofase	176
Tabela 27. Valores da SE dos subcomponentes e atributos do pulso hidrossedimentológico durante a limnofase	177
Tabela 28. Sensibilidade ecológica do sistema a respeito da química das águas subsuperficiais e a variação mensal do lençol freático	179
Tabela 29. Sensibilidade Ecológica do sistema a respeito do componente <i>Solos</i>	180
Tabela 30. Sensibilidade Ecológica do sistema, componentes Vegetação e Paisagem	181

Tabela 31. Risco ecológico do Sistema Bertioiga, subssistemas Itaguaré e Guaratuba	183
Tabela 32. Esquema de qualificação da matriz orientadora dos objetivos ambientais zonificados	185
ANEXOS	226
Anexo 1	227
Anexo 2	229
Anexo 3:	
Figura 24. Primeira aproximação ao refinamento das Unidades quaternárias da área de estudo	232
Figura 25. Imagem de satélite (banda 3 CBERS) das áreas urbanizadas da área de estudo	232
Figura 45. Dispersão dos sedimentos na limnofase	233
Figura 54. Variação da profundidade do lençol freático na área de estudo durante a potamofase e a limnofase	234
Figura 55. Variação espacial da salinidade no lençol freático	235
Figura 56. Variação espacial da condutividade no lençol freático	236
Figura 57. Variação espacial da resistividade no lençol freático	236
Figura 58. Variação espacial do SDT no lençol freático	236
Figura 59. Variação espacial da temperatura no lençol freático	237
Figura 60. Variação espacial do OD no lençol freático	237
Figura 61. Variação espacial do ORP no lençol freático	237
Figura 62. Variação espacial do pH no lençol freático	237
Figura 65. Mapa de solos conforme aos ecótopos do Sistema Bertioiga	238
Figura 66. Mapas probabilísticos da variação espacial para as variáveis químicas estudadas (camada superficial do solo, 0-20 cm)	239
Figura 67. Variação espacial dos atributos físicos com maior índice de dependência espacial (IDE)	243
Figura 68. UQ's e TGF's nas planícies costeiras e baixa encosta de Bertioiga	244
Figura 71. Efeitos antrôpicos no meio	245
Figura 72. Vestígios de alterações antrôpicas no meio	245

1. INTRODUÇÃO

1.1 ANTECEDENTES

As áreas costeiras são os ambientes mais dinâmicos do planeta (BUSH & YOUNG, 2009), onde interagem os processos continentais com os marinhos, que podem ser caracterizados por meio de critérios físicos, biológicos ou culturais (CARTER, 1988). É o ponto de encontro da hidrosfera, a litosfera e a atmosfera, que molduram de maneira constante o ambiente litorâneo (BUSH & YOUNG, 2009).

Tal dinâmica influencia a zona costeira, ora quando se dá uma maior influência dos processos marinhos, ora quando prevalecem os processos continentais. Contudo, normalmente a determinação de limites é impossível, e frequentemente esses limites são constituídos por gradações ou transições ambientais (CARTER, 1988). Tal complexidade aumenta quando a área costeira inclui planícies de inundação. Um exemplo disso é a planície costeira de Bertiooga.

A zona costeira paulista alterna extensas zonas de grande diversidade de ecótopos (também chamados de biótopos, área geográfica ocupada por um bioma que apresenta regularidade nas condições ambientais e nas populações animais e vegetais, das quais é o hábitat), com outras de intensa degradação ambiental, entre eles o município de Bertiooga e suas áreas florestais localizadas entre as bacias hidrográficas dos rios Itaguapé e Guaratuba (MOREIRA *et al.*, 2007).

Entre as fitofissionomias florestais nessas bacias que poderiam sofrer efeitos não desejados para sua conservação, destacam-se aquelas conhecidas pelo nome genérico de “restinga”, termo usado para definir comunidades vegetais representadas por formações de herbáceas, arbustivas e florestais, desenvolvidas em mosaicos sobre a planície costeira e na baixa e média encosta. Elas refletem as características físicas e hidrológicas do substrato, porém, nem sempre estruturalmente semelhantes (KLEIN, 1961; RIZZINI, 1963; ARAUJO, 1992, *apud* GUEDES *et al.*, 2006; SOUZA, 2006; PIRES, 2006), guardando forte associação com os ambientes sedimentares presentes nesses compartimentos geomorfológicos (SOUZA, 2006; LOPES, 2007).

Uma avaliação ambiental transdisciplinar, aportaria elementos de análise que permitiriam o tratamento dos problemas ambientais desde uma perspectiva de o ambiente como ente coletivo, que aceita e precisa do uso de seus elementos físicos e biológicos, para poder ser conservados perante as necessidades humanas, tanto como recursos quanto para sua conservação em si mesma (NICOLESCU, 1997, 2001).

Para atingir esta meta, é necessária a integração dos diferentes componentes da paisagem, os já mencionados físicos, biológicos, e os humanos (socioeconômicos, culturais, etc.), numa pesquisa que interprete da melhor maneira possível tais componentes um em função do outro considerando diferentes modelagens, segundo os problemas específicos identificados. Para nosso caso, trata-se de propostas de tratamento dos problemas ambientais relacionados com áreas costeiras.

Este trabalho pretende apresentar um panorama da região sob a perspectiva do planejamento ecológico, baseado no marco conceitual e metodológico para Projetos de Ordenamento Territorial Ambientalmente Sustentável (OTAS) da planície costeira e baixa encosta do litoral do município de Bertiooga (SP), com a finalidade de fornecer elementos

teóricos e práticos para proteger, reparar e/ou desenvolver a natureza e a paisagem cênica do território¹.

O planejamento ecológico (ou da paisagem) foi introduzido na Alemanha na década de 1970, como uma maneira de assegurar, de maneira perdurável, a capacidade do ecossistema de manter as relações entre todos os componentes ambientais, através da mitigação ou compensação dos impactos negativos significativos que as ações humanas possam acarretar (BMU, 1994, FAIRA, 1996).

O planejamento ecológico é estabelecido neste trabalho como aporte científico, indicativo e orientador, de maneira quantitativa, do ecossistema e dos recursos naturais, em concordância com as necessidades atuais e futuras de uso do solo dentro de uma contextualização geográfica.

Esse aporte se nutre de conceitos técnicos comuns aos estudos ambientais e os estudos de ciência básica nas áreas da geografia, hidrologia, geologia, agronomia, ecologia e ciências humanas.

Na figura 1 se apresenta de maneira esquemática esta abordagem, onde a informação obtida a partir de uma disciplina é utilizada, segundo a necessidade, na interpretação dos dados obtidos a partir de outra, e assim por diante.

Figura 1. Abordagem conceitual esquematizada. As setas representam o fluxo de informação entre as diferentes disciplinas. Adaptação de Neotrópicos (2001)

Tal abordagem se baseia no conceito de sustentabilidade, entendido aqui como um conceito sistêmico, relacionado com a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana, que propõe a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais para atingir pró-eficiência na manutenção indefinida dos recursos que dela se obtém. Este é um ideal formado por conceitos provenientes da ecologia e da teoria biológica da evolução, e também influenciado pelas propostas do movimento ambientalista.

¹ Paisagem cênica é o potencial do território para lazer próximo ao meio natural.

Este referencial elegeu o conceito de sustentabilidade ecológica como o indicador mais importante de suas análises (LIMA & POZZOBON, 2000).

1.2. CONTEXTO NORMATIVO

Para o Estado de São Paulo existe uma série de regulamentações, entre federais e estaduais, para a conservação da biodiversidade dos ecossistemas costeiros (o Código Florestal –Lei Federal 4771/1965, o Decreto Federal CONAMA 750/1993, a Resolução CONAMA 09/1996 e anteriores, a resolução conjunta SMA/ IBAMA 05/1996, o Decreto Federal CONAMA 303/2002, a Lei Federal 11.428/2006, a Resolução SMA 14 e 15/2008, entre outras o Decreto Federal CONAMA 750/1993). Porém, tal regulamentação, pelo caráter de norma abrangente que ela deve ter, ainda não foi determinada de maneira acorde às características físicas e bióticas do terreno, as ações prioritárias para recuperar, preservar, conservar o manejar de maneira sustentável as áreas naturais, em harmonia com as pretensões de uso do solo (urbano, agrícola, etc.).

Não obstante, estas normas devem ser contextualizadas geograficamente para que possam ser uma verdadeira ferramenta que aja com eficácia perante as iniciativas de conservação do meio ambiente.

1.3. HIPÓTESE DE ESTUDO

A pesquisa aponta à procura de garantias para o bom funcionamento do sistema, os impactos potenciais sobre a diversidade de organismos e habitats, das alterações ou modificações antrópicas do meio físico, e os impactos potenciais que o meio biofísico acarreta sobre as populações humanas, por causa das alterações ou modificações feitas ao meio natural.

Em síntese, a área escolhida apresenta uma série de características e uma especial complexidade de ambientes físicos e biológicos, intensamente influenciados pelos fatores antrópicos, em que resultou idônea uma proposta que pôde inter-relacionar todos esses componentes dentro de um contexto geográfico, num esforço para inferir o funcionamento do sistema ou complexo de sistemas envolvidos, em termos de risco ecológico, que por definição trata-se do cruzamento referente à sensibilidade ecológica (susceptibilidade aos eventos naturais) e a intensidade potencial de efeitos acarretados pelo uso.

Essa informação foi utilizada como medida de avaliação da sustentabilidade em curto médio e longo prazos, e propor as medidas mais acertadas, contextualizadas geograficamente, que ajudem a corrigir ou minimizar os impactos negativos que possam ocorrer, antes ou depois das atividades humanas desenvolvidas nesse território. Com base nesse critério, foram as seguintes hipóteses:

H₀: A sustentabilidade ambiental dos fragmentos de maciços florestais da planície costeira e baixa encosta do município de Bertioiga, no seu estado atual dependem majoritariamente de fatores intrínsecos a ela.

H_A: A sustentabilidade ambiental desses fragmentos no seu estado atual depende majoritariamente de fatores extrínsecos a ela.

Uma validação da hipótese Zero (H_0), significaria que *o nível de risco ecológico para os biótopos presentes está determinado pela sensibilidade ecológica de tais fragmentos*, e para o caso de uma validação da hipótese alternativa (H_A), significaria que *no sistema Bertiooga o nível de risco ecológico para os biótopos presentes é determinado pela intensidade potencial das atividades humanas*.

1.4. OBJETIVOS.

A presente pesquisa propôs aprofundar o conhecimento e relacionar os múltiplos fatores envolvidos e que indicam diferentes níveis de ameaça a tal ambiente, como o estado atual da *cobertura vegetal* e da *diversidade de ecótopos* que potencial ou efetivamente podem ser ou são explorados por elas, e o funcionamento geral do sistema.

Em outras palavras, prantearam-se os seguintes objetivos:

1.4.1. Geral.

Avaliar a sustentabilidade ambiental dos fragmentos de maciços florestais (restinga) da planície costeira e baixa encosta entre as bacias hidrográficas dos rios Itaguapé e Guaratuba, município de Bertiooga (SP), a partir da análise de risco ecológico.

1.4.2. Específicos.

Elaborar um inventário dos recursos naturais do território (biológicos, climáticos, hídricos, edáficos, diversidade de habitats e organismos), nos diferentes tipos de formações vegetais de restinga presentes entre na área de estudo.

Estabelecer quais as diferenças e similaridades entre os diferentes biótopos presentes na área, de acordo com a variabilidade ambiental entre elas e dentro delas.

Fazer uma avaliação ambiental do território sob a perspectiva do risco ecológico para as diferentes formações vegetais que definem cada biótopo estudado.

Estabelecer um zoneamento ambiental do território, segundo critérios de proteção, reparação e desenvolvimento (manejo) para as diferentes formações vegetais.

2. ABORDAGEM CONCEITUAL

2.1.CONTEXTO SISTÊMICO DA PESQUISA

O presente trabalho tem um caráter multifacetado, abrangendo diversas disciplinas e por tanto, exige a contextualização dos conceitos e definições de igual maneira, aplicados a um mesmo espaço geográfico: a planície costeira e baixa encosta do município de Bertioga. Por tanto, tal e como já foi mencionado nos parágrafos introdutórios, o presente trabalho exigiu a abordagem de conceitos que vêm das áreas da geografia, hidrologia, geologia, agronomia, conservação, ecologia e das ciências humanas, cujos cenários conceituais são apresentados a partir do numeral 2.2 do presente capítulo.

Sobre esse ponto de vista, a abordagem conceitual é realizada sob o axioma sistêmico, temporal e paisagístico, conforme Preobrazhenskii *et al.*(1988, *apud* MATEO-RODRIGUEZ, 2000).

Sob essa abordagem, os temas foram tratados do ponto de vista informacional, visando obter um conhecimento básico sobre os mecanismos de regulação, homeostase, resiliência, e sustentabilidade geocológica e da paisagem.

Essa abordagem também é realizada do ponto de vista estrutural, visando compreender a paisagem do Sistema Bertioga na sua estrutura parassistêmica, horizontal e vertical, sua geodiversidade e sua organização hidrológica, pedológica, ecossistêmica e geossistêmica.]

2.2.CONTEXTO GEOGRÁFICO DO SISTEMA.

Por seus princípios de interdisciplinaridade e síntese, a abordagem geográfica foi feita visando uma contextualização geossistêmica. As bases teóricas da tal contextualização foram formuladas pela escola russa por meio de V.B. Sotchava em 1960, e difundidas no ocidente pelo francês G. Bertrand, na mesma década, em 1968 (RODRIGUES, 2001).

Conforme Bertrand (1972) o geossistema se define como “um espaço geográfico resultante da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem, num conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”. Resulta, portanto, da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não representando, necessariamente, homogeneidade fisionômica e sim um complexo essencialmente dinâmico.

Em resumo, por geossistema se entende o sistema espaço-temporal, de uma organização espacial complexa e aberta, onde interagem componentes físicos susceptíveis de ser modificados em diferentes graus pelas atividades humanas (SOTCHAVA, 1977; SOTCHAVA, 1978, *apud* MATEO-RODRIGUEZ, 2000; RODRIGUES, 2001).

O geossistema tem um caráter policêntrico e poliestructural, pelo que geralmente absorve um maior número de componentes e relações que o ecossistema. Os Geossistemas Integrados, e em especial os antropo-ecológicos, consideram-se como geo-ecossistemas (MATEO-RODRIGUEZ, 2000).

Então, do ponto de vista geográfico, a planície costeira e baixa encosta de Bertioga é um geossistema cuja estrutura geológica é de origem pleistocênica que ainda hoje interage com ambientes holocênicos a atuais, controlados por diversos fatores hidrológicos, climáticos

e geomorfológicos (e atualmente antrôpicos), para criar um complexo ecossistêmico de biocenose única dentro dos biomas conhecidos para o Brasil.

Do ponto de vista da paisagem, a planície costeira é um mega-relevo gerado por deposição de sedimentos quaternários, com incidência relevante do lençol freático na formação das paisagens.

Nesse contexto, a planície costeira de Bertioga, que pode ser chamada indistintamente como Sistema ou Geossistema Bertioga, envolve processos e mecanismos no seu funcionamento, cujas bases serão explicadas ao longo deste trabalho, sob a óptica do planejamento ecológico.

2.3.CONTEXTO GEOLÓGICO – SEDIMENTOLÓGICO.

2.3.1. Aspectos básicos da geologia e sedimentologia das unidades quaternárias da planície costeira de Bertioga.

A maior parte da informação que se conhece sobre os aspectos geológicos e sedimentológicos da região se devem a Souza (2006, 2007) e Souza *et al* (2008) entre outros. A continuação descrevem-se tais aspectos, salientado que o contexto sedimentológico se refere especificamente aos aspectos texturais de tais sedimentos.

De acordo com esses autores, ocorrem nove tipos de unidades sedimentares quaternárias (UQ) na área de pesquisa proposta (figura 2). Tais unidades têm uma disposição mais ou menos paralela à linha de costa, entre ela e a Serra do Mar, mais ou menos organizadas por idades geológicas de menor a maior (atuais, holocênicas e pleistocênicas), vistas desde essa linha até a serra.

Essas unidades incluem praias, planícies de maré, cordões litorâneos e terraços marinhos, terraços marinhos, paleolagunas, terraços fluviais e planícies de inundação, ambientes de sedimentação mista com depósitos fluviais e colúvios de baixada, e ambientes de baixa encosta. Na figura 2 se apresenta o mapa das UQs conforme propôs Souza (2007), e na tabela 1 uma síntese apresentada por Moreira (2008) das características desses ambientes sedimentares.

Perfis de solos realizados nas duas bacias por Moreira (2007) sintetizam as características sedimentológicas predominantes nas Unidades Quaternárias (UQ) associadas às bacias em questão.

Uma relação entre os solos e o substrato geológico já foi realizado por Martins (2009). Entre as várias recomendações, sugere uma melhor definição dos limites dos substratos como insumo fundamental na pesquisa da cronoestratigrafia e geocronologia dos ambientes sedimentares, entre outros aspectos.

Figura 2. Mapa de Unidades Geológicas Quaternárias de Planície Costeira e Baixa Encosta das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba (Souza, 2007).

UQ	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	FITOFISIONOMIAS	SOLOS
LHF	Depósitos fluviais holocênicos a atuais constituídos de sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos; NA: 0,50–1,20 m (estação seca).	Planícies de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos.	Floresta Alta de Restinga, Floresta de Transição Restinga-Encosta, Floresta Alta de Restinga Úmida, Floresta Paludosa	GLEISSOLOS HÁPLICOS e MELÂNICOS
LMP	Depósitos mistos não individualizados formados por sedimentos aluviais e colúvios de baixada, de idade holocênica a atual; NA: 0,20–1,10 m (estação seca).	Planície sedimentar de muito baixa declividade localizada ao fundo da planície costeira.	Floresta de Transição Restinga-Encosta	NEOSSOLOS FLUVICOS, GLEISSOLOS HÁPLICOS, CAMBISSOLOS FLUVICOS e HÁPLICOS
LCD e Cx-LCD	Depósitos paleolagunares a lacustres pelíticos (podendo estar recobertos por colúvios de baixada e depósitos aluviais), constituídos de sedimentos pelítico-orgânicos a areno-siltico-argilosos, de idade holocênica a atual; NA: aflorante - 0,20m (estação seca). Complexo formado por depressões paleolagunares que entremeiam terraços marinhos pleistocênicos mais altos e muito erodidos (Cx- LPTa).	Depressões paleolagunares holocênicas amplas e colmatadas localizadas no centro das planícies costeiras; pequenas depressões paleolagunares entremeando restos de terraços marinhos pleistocênicos mais altos (LPTa), formando um complexo (Cx-LPTa/LCD) não individualizável na escala de mapeamento.	Floresta Paludosa (paleolagunas mais profundas); Floresta Alta de Restinga Úmida (paleolagunas mais rasas)	ORGANOSSOLOS SÁPRICOS e FÍBRICOS (em Cx-LCD/FaRu); GLEISSOLOS MELÂNICOS e HÁPLICOS (localmente)
LHTb	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade holocênica, às vezes recobertos por depósitos dunares holocênicos a atuais; NA: 0,40-1,20 m (estação seca).	Cordões litorâneos (bastante ondulados).	Floresta Baixa de Restinga, Floresta Alta de Restinga	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, ESPODOSSOLOS HUMILÚVICOS
LHTa	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade holocênica, às vezes recobertos por depósitos dunares holocênicos; NA: 0,50-1,50 m (estação seca).	Terraços marinhos mais baixos e mais próximos à linha de costa (suavemente ondulados).	Floresta Alta de Restinga	ESPODOSSOLOS HUMILÚVICOS
LPTb	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas, de idade pleistocênica mais jovem, podendo estar recobertos por depósitos dunares holocênicos; NA: 0,70-2,70 m (estação seca).	Terraços marinhos intermediários (planos, localmente ondulados).	Floresta Alta de Restinga	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, ESPODOSSOLOS HUMILÚVICOS e FERRI-HUMILÚVICOS
LPTa	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade pleistocênica mais antiga, podendo estar recobertos por depósitos dunares; NA: 1,0 - >3,0 m (estação seca).	Terraços marinhos mais elevados e mais distais da linha de costa, formando montículos isolados, planos e pouco extensos; em geral entremeados por pequenas depressões paleolagunares, formando um complexo (Cx-LPTa/LCD) não individualizável na escala de mapeamento.	Floresta Alta de Restinga	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, ESPODOSSOLOS FERRILÚVICOS NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, ESPODOSSOLOS FERRILÚVICOS
Cx-LPTa	Complexo formado por LPTa erodido e entremeado por depósitos paleolagunares holocênicos (Cx-LCD).			
LPF	Depósitos fluviais constituídos de sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos, de idade pleistocênica; NA: 0,50-1,50 m (estação seca).	Terraços fluviais alçados (planos e amplos) e sempre em associação com LPTa e Cx-LPTa..	Floresta Aluvial	GLEISSOLOS HÁPLICOS, CAMBISSOLOS FLÚVICOS; NEOSSOLO FLÚVICO
LCR	Depósitos de encosta com sedimentos coluviais, de tálus e de leques aluviais, de idade pleistocênica a atual, constituídos de sedimentos de matriz areno-siltico-argilosa com grânulos dispersos até matacões; NA: ≥2,0 m (estação seca).	Rampas de baixa declividade localizadas na baixa encosta, às vezes adentrando a planície costeira (leques aluviais).	Floresta de Transição Restinga-Encosta	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, CAMBISSOLOS HÁPLICOS, LATOSSOLO AMARELO

Tabela 1- Síntese das características das associações UQ/Vegetação de planície costeira e baixa encosta e os Solos presentes. Fonte: Moreira (2007).

2.3.2. Quantificação da perda da estrutura superficial e subsuperficial das unidades quaternárias da planície costeira pelo processo de artificialização do espaço.

A ocupação urbana e a artificialização da área de estudo a partir das décadas 1950-60, afetou de maneira diferenciada o município de Bertioga, em função das necessidades de espaço, disponibilidade de recursos, capacidade econômica e tecnológica e especialmente, as pressões que a demanda por infraestrutura turística impulsiona a construção civil e o setor imobiliário.

O resultado deste processo de urbanização foi obviamente a geração de uma série de impactos ambientais, entre eles a transformação superficial desses ambientes sedimentares, com a subsequente perda de geoformas naturais, para dar passo a “tecnogeoformas” (TGFs).

Consequentemente, houve um processo de destruição física de evidências estratigráficas superficiais e subsuperficiais, e dos biótopos que existiam sobre esses ambientes sedimentares. Essa transformação será tratada aqui de maneira informal como “perda” de UQ, pois os remanescentes das unidades estão em geral sob as tecnogeoformas.

A denominação de “tecnogeoformas”² é utilizada porque as novas formas de relevo urbano resultam de um processo de desestruturação irreversível da forma natural original, ao tempo que o processo de artificialização inclui também uma re-estruturação tecnológica da unidade geológica usada, com fins de habilitá-la para o uso requerido.

Essa habilitação envolve trabalhos de escavação, impermeabilização, rebaixado do nível do lençol freático, introdução de material exógeno e modificação da rede de drenagem superficial e subterrânea, feita pelas sociedades contemporâneas (para diferenciá-las das antropogeoformas: transformações feitas pelas sociedades ancestrais).

Embora desestruturada em seus níveis superficiais, é possível a identificação da UQ original através de análises geológicas e geomorfológicas regionais, cujas evidências permitem a avaliação da extensão da perda da sua estrutura ocasionada pela artificialização, e medir sua fragilidade.

Segundo Ross (1994) e Guapyassú & Hard (1998), o conceito de a fragilidade se fundamenta no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas.

Dentro desta concepção ecológica, o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam por meio de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes.

A extensão da perda desses ambientes sedimentares no processo de urbanização da área pode ser avaliada então como parte da definição a nível regional da fragilidade das UQs

² Entende-se geoforma no sentido geomorfológico, como formas da superfície da terra que podemos conceber como setores ou entidades do espaço e que possuem certa geometricidade própria, coincidente com o termo geográfico “paisagem” (FUNAI, 2002; FIGUEIREDO & GORAYEB, 2009 e outros), no sentido do vocábulo alemão “*Landschaft*”, que, de acordo com Holzer (1999, p.152), refere-se a uma associação entre sítio e os seus habitantes, ou se preferir, de uma associação morfológica e cultural. Segundo esse autor, talvez tenha surgido de “*Land schaffen*”, ou seja, criar a terra, produzir a terra.

por causas antrópicas, combinando aplicações estatísticas (LEOTTI *et al*, 2005) com técnicas de geoprocessamento para análise espacial de dados geográficos (DRUCK *et al*, 2004), técnicas de quantificação da paisagem (LANG & BLASCHKE, 2009) e abordagens de avaliação de impactos ambientais (CONESA *et al*, 1993; SÁNCHEZ, 2008).

Dentro desse contexto foi imprescindível Avaliar a extensão da perda desses ambientes sedimentares no processo de urbanização da planície costeira e baixa encosta do município de Bertioga, como parte da definição a nível regional da vulnerabilidade dos ambientes sedimentares por causas antrópicas, especificamente por causa da urbanização.

Isso significa a necessidade de quantificar a extensão percentual da transformação das UQs em tecnogeoformas, definir a significância estatística da perda da estrutura original das UQs presentes na planície, por causa da urbanização, e, por último, qualificar a alteração da paisagem por causa da urbanização dos ambientes sedimentares.

2.4.CONTEXTO EDAFOLÓGICO DO SISTEMA.

O solo é um sistema aberto que atua como meio pelo qual passam fluxos de matéria e energia, promovendo processos de organização em diferentes níveis (MIELNICZUK, 2003).

Esse fluxo de matéria e energia, junto com a ciclagem de nutrientes e a diversidade de organismos e suas diversas interações propiciam diversas inter-relações dentro dos ecossistemas naturais (FERRERIA, 2005).

Essas interações entre os componentes do sistema definem seu grau de complexidade. Quanto maior a complexidade, maior a demanda de informações para sua compreensão.

Essa premissa impõe um desafio para a ciência. Ela exige a abordagem de temas e o tratamento de informação relacionada com diversos parâmetros biológicos, químicos e físicos do solo e o meio que o circunda, a avaliação do seu desempenho ambiental, e considerar ainda, os aspectos sócio-econômicos e culturais do sistema.

A esse respeito, Larson e Pierce (1994) sugerem definir os solos em termos da sua qualidade, conforme a sua capacidade de realizar, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, várias funções intrínsecas e extrínsecas, representadas pelo conjunto de parâmetros e aspectos descritos no parágrafo anterior.

Em uma tentativa de aproximar a essa premissa os conhecimentos que se tem sobre o Sistema Bertioga, foi abordado para esta pesquisa o tema dos solos, articulado à análise espacial dos mesmos, tanto da cobertura pedológica como das variáveis físicas e químicas relacionadas.

2.4.1. Análise da cobertura pedológica.

A heterogeneidade espacial, tanto física como biótica, é uma característica importante da planície costeira do município de Bertioga.

Com já tem sido descrito ao longo deste trabalho, esta área tem sido alvo de diferentes estudos visando à compreensão entre as associações dos diferentes remanescentes de vegetação, os ambientes sedimentares quaternários, seu comportamento hídrico e, no caso que agora nos ocupam, os solos associados, na busca de avaliar a sustentabilidade ambiental desse

sistema (SOUZA, 2007; MOREIRA, 2007; LOPES, 2007; SOUZA *et al.*, 2009; BADEL-MOGOLLÓN & SOUZA, 2009, MARTINS, 2009).

Durante a fase de campo foram reconhecidas diferentes configurações topográficas que correspondiam às diferentes estruturas geológico-geomorfológicas descritas por Souza (2007), posteriormente refinadas espacialmente como parte desta pesquisa (BADEL-MOGOLLÓN & SOUZA, 2009).

Essas estruturas geológico-geomorfológicas revelaram diferentes sequências e associações de solos, que foram objeto de contextualização espacial e análise físico-química da sua camada superficial (0-20 cm).

Parafraseando a Santos (2000), essas sequências pedológicas revelariam uma diferenciação lateral dos solos na paisagem, que reflete mecanismos pedogenéticos próprios, que podem incluir adição, perda, transformação e translocação de matérias no solo.

Esse autor indica que tais mecanismos poderiam acontecer a partir de uma cobertura inicial, seguir uma direção à montante ou à jusante das vertentes, dar origem a solos que podem ou não estar relacionados com o substrato rochoso e ainda ter controle sobre a evolução do próprio relevo.

No caso particular da planície costeira de Bertioga, Martins (2009), indica que a influência do relevo e da topografia na pedogênese da planície costeira se reflete, sobretudo, na evolução dos Espodossolos para os Neossolos Quartzarênicos a partir do desmantelamento do horizonte B espódico.

Essas noções foram demonstradas através da análise estrutural da cobertura pedológica (BOULET *et al.*, 1982a,b; BOULET, 1988 entre outros), proposta conceitual e metodológica que confere igualmente uma extensão geográfica, ou seja, uma continuidade espacial, ao objeto de estudo, quer dizer, o solo.

Essa proposta conceitual e metodológica permite uma diferenciação clara da distribuição espacial dos tipos de solo conforme ao arranjo espacial do relevo em uma vertente (YOUNG, 1976).

Embora não sejam muito abundantes, por meio de diversos trabalhos se tem um conhecimento bastante aceitável dos tipos de solos que se apresentam na planície costeira e baixa encosta deste sistema.

Destacam-se na Baixada Santista os trabalhos de Queiroz Neto & Küpper (1965), Oliveira *et al.* (1999, *apud* ROSSI & QUEIROZ-NETO, 2001), e já especificamente na bacia do Rio Guaratuba, os trabalhos de Rossi (1999), Rossi & Queiroz-Neto, (2001, 2002), e Moreira (2007), descrevem muito bem os tipos de solos que se observam na região. Entretanto, Martins (2009) descreve os diferentes estágios de degradação dos horizontes B espódicos dos terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos, e os relaciona com a evolução da paisagem local.

Um breve histórico seria o seguinte:

Na década de 1960, Queiroz Neto & Küpper (1965, *apud* ROSSI & QUEIROZ-NETO, 2002), apontaram que na Baixada Santista, em áreas arenosas de feixes de restinga, tem presença a associação Podzol Hidromórfico nas partes altas e solos orgânicos nas

depressões com saturação hídrica e carência de oxigênio, e Gleis Pouco Húmicos e aluviões nos sedimentos continentais.

Na década de 1990, Oliveira *et al.* (1999) para essa parte litorânea indicaram em um contexto geral e conforme a classificação de Camargo *et al.* (1987), a presença de Espodossolo Ferrocárbico Órtico com A proeminente e moderado, associado ao Neossolo Quartzarênico Órtico distrófico A moderado e, em pequenas áreas, o Gleissolo Sálico Órtico textura média, associado ao Neossolo Quartzarênico Hidromórfico salino A moderado.

Contemporaneamente a Oliveira, Rossi (1999), identifica dentro da planície costeira e a baixa encosta da bacia do Rio Guaratuba, a presença da associação de podzol+podzol hidromórfico, Glei pouco Húmico (sedimentos continentais) e Associação Glei Pouco Húmico+Cambissolos (sedimentos flúvio-continentais), Associações entre solos aluviais+Gleissolo (sedimentos fluviais), Solos orgânicos (turfas), e, na área de influência estuarina, areia quartzosa hidromórfica salina.

Rossi & Queiroz-Neto (2001) em um trabalho transcendental para o conhecimento da evolução pedológica da bacia do Rio Guaratuba, e por extensão do sistema em geral, salienta algumas considerações que podem adquirir o caráter de postulados, pelo que vale a pena destacar de maneira textual:

- 1- As formações marinhas arenosas antecedem a sedimentação continental, criando condições para que esta ocorra numa depressão à retaguarda de um feixe de restinga, provavelmente o mais antigo.
- 2- A evolução pedológica do tipo Espodossolo (Podzol), com a formação de um horizonte Bh_s, iniciou-se quando o nível do lençol freático encontrava-se mais baixo (regressão?) e, talvez, contemporâneo da formação do horizonte turfoso de paleovárzea brejosa;
- 3- Posteriormente, houve o soterramento deste horizonte turfoso por nova sedimentação francoargilo- siltosa, com nova pausa que permite a formação de pequeno horizonte orgânico;
- 4- Contemporaneamente ou pouco posterior, ocorreu a escavação de um canal fluvial, cujos sedimentos seixosos indicavam competência de transporte, portanto, energia mais elevada (torrencial?);
- 5- Finalmente, uma última sedimentação recobriu esses testemunhos, com a pausa atual que permite a evolução do horizonte A.

Igualmente, esse autor ressalta a importância do estudo das topossequências dos solos para caracterizar a evolução de pelo menos nesse setor da planície costeira.

Posteriormente, também para a bacia do Guaratuba, Rossi & Queiroz-Neto (2002) ilustram em duas topossequências, a transformação de Espodossolo Ferrocárbico (Espodossolo Ferrihumilúvico na nomenclatura atual) sobre sedimentos arenosos marinhos para Organossolo (solo orgânico) em uma delas.

Na outra topossequência apresenta a relação entre Gleissolo Háptico (solo glei pouco húmico) sobre sedimentos continentais e Espodossolo Ferrocárbico (Podzol) em sedimentos areno-quartzosos marinhos.

Finalmente, Moreira (2007) faz um trabalho exaustivo nas bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba, a partir dos trabalhos de Souza (2004, 2006, 2007, entre outros), em um contexto que considera o ambiente geológico, geomorfológico e da vegetação.

Essa autora identifica diferentes tipos de solos mediante perfis devidamente georeferenciados, e sua associação com as fitofisionomias conhecidas até esse momento para essa região. Eles foram:

- Neossolo Quartzarênico e Espodossolo Humilúvico, sob Floresta Baixa de Restinga (FbR) localizada sobre Terraço Marinho Holocênico Alto (Lhta).
- Neossolo Quartzarênico sob FaR localizada sobre o complexo Terraço Marinho Pleistocênico Alto e áreas paleoestuarino-lagunares (Cx-LPTa/LCD).
- Gleissolo Háptico sob FaR localizada sobre Depósito Fluvial Holocênico (LHF). Também foi encontrado sob Floresta Paludosa (FPa) e Floresta De Transição (FTr), ambas localizadas sobre Planície de Inundação.
- Gleissolo Melânico em Floresta Alta de Restinga Úmida (FaRu) presentes em Depósitos Paleoestuarino-lagunares e Lacustres e Colúvios de Baixada Holocênica a Atuais (LCD).
- Organossolo Sáprico sob FaRu e Floresta Paludosa (FPa).
- Organossolo Fábriico sob FaRu localizada sobre Depósitos Paleoestuarino-lagunares, no compartimento CX-LPTa/LCD (Cx-LCD).
- Neossolo Flúvico, Gleissolo Háptico e Cambissolo Flúvico sob Floresta Aluvial (FAL) localizada sobre Terraço Fluvial Pleistocênico (LPF). O Cambissolo Flúvico também foi identificado sob FTr localizada sobre LMP.
- Neossolo Flúvico sob Floresta De Transição (FTr), localizada sobre depósito de leito fluvial. Também foi identificado sob Floresta de Transição localizada sobre Depósito de Leito Fluvial (FTR), e ainda sobre Depósitos Mistos (fluviais e colúvios de baixada) – LMP.

Sendo que esses perfis estavam devidamente georeferenciados, esse trabalho em particular inspirou o empreendimento da análise da cobertura pedológica do interior da planície costeira e da baixa encosta, como forma de saber a dimensão geográfica da presença desses solos e outros que fossem identificados, e, possivelmente, contribuir à elucidação dos mecanismos pedogenéticos envolvidos.

2.4.2. Análise da variação físico-química da camada superficial dos solos.

A variação físico-química da camada superficial tem a finalidade de inferir as condições atuais da ciclagem de nutrientes nas florestas que suporta.

Essa camada de solo superficial é formada a partir da decomposição de diferentes elementos (folhas, galhos, frutos, animais mortos), acompanhada da atuação de organismos vivos (insetos, fungos, algas e bactérias).

Nesse círculo acontece a reciclagem dos nutrientes dispostos no ambiente, que, dependendo de diferentes fatores (bioclimáticos, hídricos, pedológicos...), permanecem em uma dinâmica que condiciona as fitofisionomias e elas ao sistema em geral.

O comportamento químico dos solos em ambientes sedimentares costeiros ainda é pouco conhecido no Brasil. Na região de interesse cabe destacar especialmente o trabalho de Moreira (2007), quem conseguiu descrever o comportamento dos parâmetros de fertilidade por associação à vegetação e às unidades quaternárias.

Essa autora sugere que, em geral, todos os solos são álicos e ácidos, com pH em torno de 3,5 indistintamente ou menos disto nos organossolos. Também destaca que a soma de bases (SB) e V% são muito baixos, exceto nos solos nos complexos que incluem áreas paleoestuarino-lagunares.

Também destaca o teor elevado de P orgânico, que responde às variações de Matéria Orgânica (MO) no perfil e ao elevado pH, conforme o sugerido por Kiehl (1979).

Essa autora observou que os teores de P e MO aumentam em superfície em todos os solos provenientes de sedimentos de origem marinha e em especial paleoestuarino-lagunar, e se comporta de maneira inversa (aumento em profundidade) nos ambientes de sedimentação continental, pelo que sugere que esse elemento parece se comportar como indicador para a diferenciação dos ambientes sedimentares e, portanto, das formações florestais associadas.

Por fim, Souza *et al.* (2011), realizaram uma avaliação geostatística dos teores de macronutrientes em remanescentes de floresta de restinga sequencialmente relacionados, associados a depósitos holocênicos e pleistocênicos na bacia do rio Itaguapé.

Os remanescentes estudados nesse caso (chamados de sub-biomas, uma acepção equivalente ao termo ecótopo utilizado nesta pesquisa), foram: Floresta baixa de Restinga sobre Cordões Litorâneos Holocênicos com Neossolos Quartzarênicos, Floresta alta de Restinga sobre Terraços Marinhos Holocênicos com Espodossolos Humilúvicos e Floresta alta de Restinga sobre Terraços Marinhos Pleistocênicos com Espodossolos Humilúvicos.

Eles encontraram que a variação espacial dos nutrientes depende do tipo de associação vegetação/substrato/solo, que induz à migração vertical dos mesmos a partir de elementos autóctones dos sedimentos e da ciclagem a partir da floresta (serapilheira).

Eles também encontraram que a migração lateral dos nutrientes de maior mobilidade está condicionada pela orientação espacial do eixo dos depósitos e sua vegetação associada, pelas orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem e da linha de costa, que a sua vez está relacionada com a progradação da planície costeira durante o Pleistoceno e o Holoceno.

Outros aspectos importantes encontrados nessa pesquisa foram que, nesses sub-biomas, o vigor da vegetação está condicionado pelos teores de potássio, e que, embora as condições observadas sejam bastante adversas para a vida vegetal do ponto de vista da fertilidade agrícola (solos ácidos, pouco férteis e de caráter alumínico (que indica alta toxidez por Al^{+3}), o vigor da floresta se mantém por meio de um delicado equilíbrio na dinâmica da ciclagem dos nutrientes e de fatores físicos.

Este trabalho segue essa mesma linha de análise, tanto para macro como micronutrientes, mas aplicado em função da orientação dos eixos dos depósitos sedimentares e da rede de drenagem dos subssistemas Guaratuba e Itaguapé em conjunto.

2.4.3. Estabilidade estrutural da superfície do solo.

Sob uma visão sistêmica, os solos da planície costeira baixa encosta de Bertioiga se caracterizam por estar fortemente influenciados pelos fatores climáticos preponderantes (alta umidade relativa e pluviosidade durante a maior parte do ano), o pulso hidrossedimentológico e ainda flutuações diárias do nível do rio e os ciclos de maré, e, por tanto, a possibilidade de alagamento súbito de grandes extensões de terreno.

Além disso, essas características condicionam a estrutura e composição da vegetação que sustenta, e, que por sua vez, com o decorrer do tempo modifica as condições físicas e químicas do solo e do fluxo hídrico.

Tais condições configuram situações espaço-temporais localizadas, dificilmente generalizáveis para toda a planície. Tal problema foi abordado neste trabalho com a procura de adequados indicadores da complexidade e das mudanças espaço-temporais na estrutura superficial do solo, e inferir leis que vinculem causas (fatores do meio) com efeitos (mudanças na estrutura da vegetação).

Assume-se que uma variável biótica (p.ex. Altura do dossel) está determinada por outras variáveis abióticas cuja distribuição pode-se considerar contínua (CAMARERO & ROZAS, 2006).

Essa associação espacial entre as classes granulométricas e as classes de cobertura vegetal ajuda a inferir o grau de vulnerabilidade ecológica, a sensibilidade do meio às mudanças ambientais, e o risco de perda da função ecológica pelas interferências atualmente existentes.

2.5.CONTEXTO RAMSAR DA PLANÍCIE COSTEIRA

A região de estudo encaixa dentro do que a convenção de Ramsar define como “zona Úmida” (em inglês, Wetland). Contudo, As definições e os termos relacionados às áreas úmidas são muitos e, em sua maioria, confusos (BURGER, 1999), e com tendência a ser arbitrárias (MITSCH & GOSSELINK, 1986, *apud* BURGER, 1999).

Todavia, de acordo com Burger (1999), seja qual for a definição utilizada, as áreas úmidas apresentam características comuns que as identificam, tal e como a presença de água rasa ou solo saturado de água, acúmulo de material orgânico proveniente da vegetação e a presença de plantas e animais adaptados à vida aquática.

A definição de *zona úmida* está estreitamente ligada à convenção de Ramsar, especialmente como habitat de aves aquáticas, sem mostrar muito aprofundamento na sua conceituação. A secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA, 1997, *apud* Burger, 1999) define “zona úmida” assim:

"Para efeitos desta Convenção, as zonas úmidas são áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa".

Essa definição funciona bem como uma primeira aproximação para contextualizar determinado tipo de ambiente, não se encontrando na literatura especializada de língua

portuguesa uma definição formal além da supracitada. Contudo, para fins operativos, não satisfaz a abrangência esperada na abordagem deste trabalho.

No contexto neotropical já foram inventariadas tipologicamente por Scott & Carbonell (1986) 19 tipos de ambientes úmidos (humedales/wetlands). Cabe destacar, nessa lista os banhados (termo de origem espanhol: “bañado”), ecótopos reportados para os sistemas estuarino-lagunares de Guaratuba.

Conforme Burger (1999), os banhados são insuficientemente conhecidos, mesmo na Região Sul, onde até agora são realizados a maior parte do seu estudo. Disse essa autora, essa falta de estudos reflete diretamente a pouca importância dada a esses tipos de ecossistemas.

Esses tipos de ecossistemas são muito complexos, tanto na sua geologia, geomorfologia, sua biota, assim como nos seus aspectos climáticos e hidrológicos, pelo que a definição dela como um tipo de “banhado” não confere de fato uma visão contextualizada das características da planície costeira de Bertioiga.

Na língua hispanofalante, define-se tecnicamente as áreas úmidas como “humedales” (“humedal” em singular). Embora o termo também tenha sua origem na convenção de Ramsar, sua conceituação evoluiu independentemente de se a área fosse reconhecida como “sítio Ramsar” ou não.

Neiff (1999) propõe para o termo “humedal” uma definição para fins operativos é bem abrangente, e, conceitualmente, sistêmico, porque admite e estimula a abordagem interdisciplinária:

“Sistema de cobertura sub-regional em que a presença temporal de uma camada de água de espessura variável (espacial e temporariamente) condiciona fluxos biogeoquímicos próprios, solos com acentuado hidromorfismo e uma biota peculiar por processos de seleção, que tem padrões próprios na sua estrutura e dinâmica. Podem considerar-se como macrossistemas cuja complexidade se acrescenta com a variabilidade hidrossedimentológica e a extensão geográfica ocupada”.

Em esses termos, a definição de Neiff (1990, 1999) tem uma abordagem sistêmica que inclui os pressupostos de complexidade, instabilidade e intersubjetividade³ necessários na abordagem adotada para este trabalho.

Aceitando-se esse foco, a planície costeira de Bertioiga, do ponto de vista RAMSAR, pode ser definida como um *umidal* ou uma *zona úmida flúvio-litorânea* (influenciada diretamente pelos corpos de água marinho e fluvial), cuja complexidade na sua estrutura e dinâmica, tem um padrão inédito nas áreas costeiras brasileiras, e são objeto de um *estudo transversal*, nesta pesquisa, com a finalidade de, além da contribuição ao conhecimento científico nos estudos costeiros, definir os aspectos prioritários para sua preservação e fornecer elementos de análise que também contribuam ao reconhecimento de sua importância local, regional, nacional e internacional.

³ Para uma melhor compreensão epistemológica do assunto, vide Bertalanffy (1995); Uhlmann (2002); Vasconcellos, (2003), entre outros.

2.6.ASPECTOS CLIMÁTICOS DO SISTEMA BERTIOGA.

A área de estudo foi caracterizada como de clima tipo Tropical, segundo a classificação de Köppen. (Rossi, 1999). A temperatura média do mês mais quente é superior a 18°C, enquanto que o total de chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm e a precipitação anual varia de 1.600 a 2.000 mm.

Segundo Rossi (1999), a região não apresenta estação seca invernal, apenas diminuição de pluviosidade, enquanto os verões- são excessivamente úmidos. Apesar da diminuição das chuvas nos meses de inverno, não ocorre déficit hídrico.

- De acordo com Sant'Anna Neto (1994, 1995) a planície está disposta quase no sentido leste-oeste e colocando-se em posição oponente à penetração das correntes atmosféricas do sul. O rebordo da Serra do Mar é um paredão vertiginoso, quase vertical e de aproximadamente 800-900 m de altitude, que age como uma barreira para o ar carregado de umidade, numa área considerada de transição e de confronto entre os sistemas frio extratropical (polar) e cálido tropical (SANT'ANNA NETO, 1990; 1994), também chamada de Célula de Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul, onde se configura a Massa Tropical Marítima (CONTI & FURLAN, 2005).

No verão, o choque entre essas duas massas de ar, em adição às condições topográficas descritas, conferem à região elevados índices pluviométricos diários com chuvas torrenciais (PRIMAC, 2005, *apud* PEREIRA, 2011; CONTI & FURLAN, 2005).

No inverno, a região é afetada pela ação dos anticiclones móveis, associada à dinâmica da frente polar, reforçada pelo ar polar do Pacífico, de origem continental e, portanto, mais seco e estável (SANT'ANNA NETO, 1994).

Também, durante o outono e o inverno, a interação entre os anticiclones (sistemas de alta pressão) e os ciclones extratropicais (sistemas de baixa pressão gerados no Oceano Atlântico ao sul do continente sul-americano) que conseguem atingir a costa de São Paulo, determina a formação de eventos meteorológicos oceanográficos intensos, caracterizados pela atuação de sistemas frontais associados a marés meteorológicas positivas (CAMARGO *et al.*, 2000; CAMPOS *et al.*, 2010), cuja associação é conhecida como ressaca. Durante esses eventos o nível do mar sofre superelevação e, portanto, adentra a planície costeira até áreas normalmente não atingidas, podendo desencadear inundações anômalas.

Dentro desse contexto, parte do grande desafio para a compreensão da complexidade dos processos geo-ecológicos envolvidos, passa por entender o funcionamento hidráulico e a hidrologia em geral de tal sistema, que a sua vez implica entender, além do contexto climático do sistema, o contexto geológico - sedimentológico e pedológico, o contexto geográfico e a dinâmica dos rios envolvidos.

2.7.FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO E HIDROLOGIA DA PLANÍCIE COSTEIRA.

2.7.1. O comportamento pulsátil do Sistema Bertioiga

Normalmente, existe uma imprevisibilidade nos regimes de inundação nos rios de pequeno porte, onde os gradientes de perturbação podem ser expressos pela razão direta entre intensidade, duração e frequência (BUDKE, 2007). Pelo contrário, no funcionamento hidráulico nas bacias dos rios de grande porte normalmente apresentam um comportamento *pulsátil* (conforme JUNK *et al.*, 1989).

O comportamento *pulsátil* (também conhecido como “*pulso de energia e matéria*” ou “*pulso hidrossedimentológico*”, conforme NEIFF, 1999), implica o *fluxo lateral* da matéria e a energia (água, sedimentos, minerais, etc.), que ocorre do talvegue do rio para a planície na fase de inundação ou *potamofase*, em um processo que se inverte na fase de déficit hídrico ou *limnofase* (JUNK *et al.*, 1989; NEIFF, 1999). Na fase seca, o fluxo nem sempre é transversal à calha do rio (NEIFF, 1999).

O período de estiagem (considerado aqui como de déficit hídrico) é, conforme Schnack *et al.* (1995), o número de meses contínuos onde a vazão média mensal é menor que a vazão de desbordamento, ou a vazão média multianual dividida por 12 (no de meses do ano).

A potamofase e a limnofase podem ser considerados as duas fases de um evento fluvial que acontece em um ciclo anual e que é controlado pelo funcionamento hidráulico do sistema através do pulso hidrossedimentológico.

2.7.2. Medição do pulso do Sistema Bertioiga.

A abordagem deste tema leva necessariamente a retomar a discussão sobre o conceito de *pulso hidrossedimentológico* (que também seguiremos chamando indistintamente como “pulso”).

O *pulso* é um processo anual de excesso e déficit hídrico que ocorre a cada ano, cuja regularidade e duração são de relevância ecológica, já que demarcam as modificações anuais do ambiente, determinando o fluxo de matéria e energia, nas fases terrestre e aquática do sistema (JUNK, 1997).

Conforme Neiff (1999) e Neiff *et al.* (1994), o pulso hidrossedimentológico é definido em função uma série de atributos que ajudam a tipificar pontos ou episódios de um ou vários rios (figura 3).

A partir dessa série de atributos, esse autor propôs a função *f* FITRAS, acrônimo das variáveis que a compõem: *frequência*, *intensidade*, *tensão*, *regularidade*, *amplitude* e *estacionalidade* de um pulso. *f* FITRAS, além de ser uma função, é uma variável que pode ser medida em diferentes trechos do rio.

De acordo com Neiff (1999), esses atributos podem ser de caráter espacial (aqueles que definem os efeitos do pulso na planície), ou temporal (aqueles relacionados com o comportamento histórico dos atributos espaciais). A continuação seguem as definições desses atributos de acordo com esse autor (figura 3):

Figura 3. Representação gráfica elaborada por Neiff *et al.* (1994) da sequência de pulsos no Baixo Rio Paraná, à altura do Porto de Corrientes (Argentina).

Duração (Atributo espacial): também expressada como *Amplitude*, é o segmento do tempo que o rio permanece numa fase de inundação (ou excesso hídrico) ou déficit hídrico de determinada magnitude.

Intensidade (Atributo espacial): Magnitude atingida por uma fase de inundação ou seca, e é medido pelo valor atingido no hidrômetro mais próximo ou em termos de vazão. De maneira análoga, para este trabalho a intensidade é medida em termos de precipitação.

Tensão (Atributo espacial): Valor do desvio padrão desde as médias mínimas ou máximas em uma curva de flutuação hidrométrica do rio. Também se define como o encerramento da flutuação e permite estabelecer a variabilidade da magnitude dos eventos de inundação e seca. Normalmente é expressa em valores de hidrômetros ou de vazão.

Frequência (Atributo temporal): Número de vezes que ocorre um fenômeno determinado dentro de uma unidade de tempo.

Regularidade (Atributo temporal): Probabilidade estatística de ocorrência de um evento de inundação ou estiagem aconteça em um século ou milênio.

Estacionalidade (Atributo temporal): frequência estacional em que ocorrem as fases de inundação-estiagem (para o caso estudado, de excesso e déficit hídrico). É o fator a que os organismos devem-se adaptar nos seus ciclos de vida para sobreviver no sistema pulsátil.

Os rios Itaguaré e Guaratuba, pela extensão de suas bacias, podem ser considerados rios de médio porte que, embora com algumas diferenças, todas as considerações expostas oferecem evidência de um comportamento *pulsátil*, tal como nos rios de grande porte.

Conforme Neiff (1990, 1999), os sistemas pulsátiis se comportam como sistemas em permanente *desequilíbrio*, onde a variabilidade temporal é uma complexa função dependente tanto das entradas e saídas de matéria e energia em diferentes lugares da bacia, quanto das oportunidades combinatórias das populações (vegetais e animais) que moram nela para ajustar sua distribuição e abundância.

Nessa abordagem, Neiff (1999) define que o “equilíbrio dinâmico” só pode ser percebido como o cerramento da flutuação do sistema numa série histórica de tempo, ou, outras palavras, na redundância dessa flutuação ao longo do tempo.

Esse autor, a partir dos atributos do pulso hidrossedimentológico definiu a função *f* FITRAS. Essa função foi utilizada no presente trabalho por meio do software PULSO®.

Um obstáculo para sua aplicação é a falta dos dados higrométricos nos dois rios. No entanto, o regime da precipitação é altamente concordante com os eventos principais que definem o pulso da planície (potamofase – limnofase).

Essa característica particular encontrada no Sistema Bertioğa, permite a utilização das *séries temporais de precipitação* para medir o pulso desse sistema.

Embora a utilização de séries temporais curtas (menores de 20 a 30 anos) são criticadas por muitos autores, do ponto de vista holístico, aceitam-se as variações, a instabilidade e a heterogeneidade, como parte da complexidade dos eventos reais, os quais se procuraram mais *explicar* (responder o “por que” das coisas), e menos *descrever* (responder “o quê” das coisas). Nessa ordem de idéias, os eventos extremos *repetitivos* não são mais dados “anômalos”, e sim parte fundamental na procura de padrões que expliquem as observações realizadas, e suas possíveis consequências para o sistema, no curto mediano e longo período.

Eventos climáticos, hidrológicos e ecológicos são multidimensionais e incluem múltiplas variáveis, pelo que erros interpretativos vêm muitas vezes do tratamento unidimensional dos dados, mais do que do tamanho da série utilizada.

2.7.3. Aspectos ecológicos envolvidos no pulso hidrossedimentológico

Seguindo a definição de área úmida (umidal) proposta por Neiff (1999), deve-se entender que o sistema em questão não é um ecótono ou interfase entre um ecossistema aquático e outro terrestre (conforme HOLLAND, 1988, *apud* NEIFF, 1999), e sim de um sistema que está definido pela sua “capacidade de transformação interna dos estímulos que

eles têm, no espaço geográfico que ocupam os umidais, e sobre os sistemas que acolhem sua influência” (NEIFF, 1999).

Nessa mesma linha, um dos maiores problemas que se tem na hora de interpretar a ecologia dos sistemas regidos por diferentes fases temporais e espaciais, é entender que se trata de um sistema que não se pode “medir com a mesma régua” utilizada para interpretar ecossistemas terrestres.

Junk *et al.* (1989) explicaram que a organização biótica dos rios está estreitamente relacionada com os "pulsos de inundação". Também descobriu que as inundações periódicas são causa de estresse biótico no sistema, que é refletida na "reposição" (reset) do sistema, fenômeno reconhecido por Bonetto (1976, apud NEIFF, 1999) como um "processo de rejuvenescimento" dos ecossistemas que fazem parte do rio.

Em palavras de Casco *et al* (2005), “enquanto que nas paisagens da terra firme, o clima e solos condicionam a vegetação... e esta por sua vez, influencia a fauna..., nas planícies fluviais, alterações na geomorfologia e na quantidade e qualidade d’água, determinam as características da vegetação, que por sua vez, é o que produz a oferta de habitat para a fauna e o apoio para as atividades humanas”.

Embora isso, os solos e o substrato geológico são muito importantes na hora de contextualizar este tipo de ecossistema, porque imersas no sistema há áreas onde não chega normalmente a inundação, e o efeito sobre a vegetação presumivelmente é atribuição direta do tipo de solo (por exemplo, nos solos espódicos).

Por sua parte, o clima, em especial a pluviosidade, é um dos fatores mais importantes no Sistema Bertioga, porque condiciona a quantidade de água que receberia o umidal.

Essa quantidade e qualidade d’água, é um fator crítico que determina de maneira relevante a vegetação (taxa, fitofisionomia, estrutura, composição...), e ésta, por sua vez, a fauna: A água encharca os solos, os quais respondem de maneira diferenciada ao pulso (tem taxas de filtração, escoamento, eluviação diferenciadas).

Essa resposta diferenciada implica em características físicoquímicas diferenciada, que se reflete de alguma maneira, direta ou indiretamente, na vegetação e na fauna.

Por exemplo, de acordo com Casco *et al.* (2005a), a sazonalidade que desencadeia o pulso, influencia a recorrência fenológica de uma população (fase de fluorescência por exemplo, a frutificação, a fertilidade, ou o valor máximo de população) em relação ao período em que as inundações ocorrem em uma série de tempo.

Agora, o entendimento do ecossistema passa pela tipificação dos eventos associados ao pulso (tabela 2), e conseguir interpretá-los, que para este caso seria por meio dos atributos desse pulso, representados pela função f FITRAS. Essa tipificação é a base de interpretação do sistema estudado.

Evento associado ao regime pulsátil	Atributo FITRAS associado						Auto
	Amplitude	Intensidade	recorrência	Estacionalidade	Tensão	Frequência	
LIMNOFASE							
Exposição de sedimentos na planície aluvial	+	+					1.3
Colonização de sedimentos expostos pela vegetação herbácea			+	+			3
Colonização de sedimentos expostos pela vegetação lenhosa	+	+					3
Atividade de herbívoros terrestres (mamíferos, insetos) + depredadores	+	+					3
Incremento da concentração de nutrientes nos lagos*	+						3
Aumento de produtividade primária nos brejos da planície	+						3
Estabilidade dos bancos e ribeiras	+	+					1
Início de migrações de peixes dos lagos*				+			2
Aumento das concentrações de carbono orgânico particulado no rio		+					4
Aumento dos processos extrativos (caça, pesca, extração de madeira)	+				-		2.3
Diminuição da temperatura da água e aumento do oxigênio do rio		+					1
Fragmentação dos habitats aquáticos da planície, substituição das comunidades lóti- cas por comunidades lênticas (invertebrados aquáticos e seus depredadores (outros invertebrados, anfíbios)	+	+			-		3
Estabelecimento de explorações agropecuárias e assentamentos urbanos na planície	+				+	-	3
POTAMOFASE							
Transporte e depósito de sedimentos na planície	+	+					1
Decomposição da matéria orgânica terrestre, acúmulo de detritos e aumento da ativi- dade bacteriana nos sedimentos	+	+					2.4
Reativação de paleosulcos		+					1
Integração de habitats aquáticos da planície, predomínio de comunidades reófitas	+	+			+		3
Aumento da concentração de carbono orgânico dissolvido no rio		+					4
Erosão de bancos e ribeiras		+					1
Diminuição da produtividade primária nos brejos e poços, aumento da turbidez e diminuição da concentração de nutrientes na água		+					1.3
Migrações de retorno de peixes aos lagos*		+		+			2
Abandono de explorações agropecuárias e assentamentos				+	+		3

*+ = correlação positiva; *- = correlação negativa

*No caso Itaguapé/Guaratuba, essa referência seria aos brejos, paleolagunas, e especialmente, áreas estuarinas

Tabela 2- Eventos do rio e da planície associados aos atributos da f FITRAS, organizados por Schnack *et al.* (1995), conforme: (1) Drago (1994), (2) Quirós (1990), (3) Neiff (1990) & Neiff *et al.* (1994), (4) Paolini (1990). (Fonte: NEIFF, 1999).

Um aspecto importante inerente ao Sistema Bertioiga, é que as depressões paleoestuarino-lagunares em Bertioiga podem ser áreas de relativa baixa densidade de cobertura vegetal aérea (dossel), que permitiriam uma alta incidência da radiação solar.

Apesar disso, essas áreas apresentam uma camada de vegetação morta (um “colchão” ou trama de raízes, troncos, galhos e folhas caídas), sobre a camada de organossolos e gleissolos, que evita uma maior taxa de evapotranspiração, e atua inclusive como substrato onde crescem plantas, possivelmente de estratégia reprodutiva “r”⁴.

⁴ Estratégia demográfica de tipo selecção “r” espécies de rápido crescimento que exploram nichos ecológicos vazios. Produzem um elevado número de descendentes a cada ciclo reprodutivo, Por contraste, tem-se a estratégia demográfica de tipo selecção “K” refere-se a espécies de lento crescimento, competidoras, bem

Consequentemente, considera-se que, (i) a retenção de umidade dessa camada deve ser maior que a esperada, em relação à radiação solar que atinge os estratos baixos das florestas aí localizadas, e, (ii) essa camada em um tempo ecológico contribui à formação de vegetação de baixa densidade de cobertura vegetal, entre outros fatores.

2.7.4. Conectividade dos subssistemas.

A conectividade dos ambientes é um ponto chave para entender muitos processos ecológicos, já que está relacionada com a troca de indivíduos e espécies (JACKSON *et al.*, 2001), aspectos que passaram a ser de interesse após o desenvolvimento das teorias de biogeografia de ilhas, metapopulação e da ecologia de paisagem (Taylor *et al.*, 1993, 2006).

Conforme Neiff & Poi de Neiff (2002), os componentes da paisagem tem um grau diferente de conectividade com o curso do rio. Algumas variáveis que condicionam esse grau de conectividade são: posição que ocupam na planície fluvial, a possibilidade de evitar os períodos críticos de inundações ou secas (por exemplo, migração) e a sensibilidade aos diferentes atributos do pulso.

Como no sistema estudado não existem ou não se conhecem séries temporais hidrológicas ou hidrográficas, mas por outro lado existe uma grande coincidência entre os eventos pluviométricos e os pulsos de inundação e déficit hídrico, essa coerência entre os dois eventos permite, de fato, fazer medições do pulso hidrossedimentológico baseados no dados pluviométricos disponíveis.

2.7.5. Elasticidade do sistema

A elasticidade do sistema pulsátil é um parâmetro descritivo que estabelece uma relação entre a máxima área ocupada pela fase úmida durante a potamofase de um pulso hidrossedimentológico extremo, a respeito da mínima área ocupada pela fase úmida durante a limnofase em uma seca extrema (NEIFF, 1999).

Conforme esse autor, esse quociente é um componente relacionado com as características geomorfológicas do macrossistema, a capacidade de armazenamento de água do solo e o sub-solo, e a variabilidade meteorológica regional (balanço hídrico).

estabelecidas em nichos já bem preenchidos, investindo menos no número de descendentes e mais na probabilidade de sobrevivência até a idade adulta (Pianka, 1970).

Através do conhecimento da elasticidade do macrossistema, é possível inferir informação com os fluxos biogeoquímicos que operam nas áreas úmidas, além de que se poderia explicar mecanismos e processos relacionados com a distribuição e abundância populacional, estoque e mobilização de nutrientes e as condições de oxido-redução e acúmulo/degradação de matéria orgânica desse macrossistema (NEIFF, 1999).

Esse autor apresenta alguns valores de elasticidade que podem servir de referência para a análise do sistema estudado. Por exemplo, o Chaco Oriental apresenta um quociente de elasticidade de 12,35; o Pantanal Matogrossense 11,90; o Rio Paraná é de 7,6 e os Esteros del Iberá (Argentina) é de 1,54.

Conforme esses valores, espera-se então que os esteros del Iberá sejam mais planos ou menos extensos, com maior capacidade de armazenamento de água superficial e sub-superficial e menor variabilidade meteorológica regional. No mesmo sentido, espera-se que no Chaco Oriental aconteçam os eventos mais extremos entre a potamofase e a limnofase.

Em síntese, quanto menor a elasticidade do macrossistema, mais estacionárias são as condições do mesmo.

2.8.CONCEITOS BÁSICOS SOBRE AS VARIÁVEIS QUÍMICAS RELACIONADAS COM AS ÁGUAS.

Existe uma estreita relação entre a riqueza funcional e estrutural dos sistemas aquáticos com os fatores físicos e químicos desse meio. Conforme Mucci *et.al.* (2004) e Couto *et al* (2006), essa relação é tão estreita que a composição da população varia sensivelmente com a variação da composição da água.

Os ambientes aquáticos e subaquáticos de um sistema se interconectam com ambientes terrestres, resultando em diversas interações e fluxos de matéria e energia, que pode ser transportada por veículos suscetíveis de ser categorizados como geológicos, meteorológicos ou biológicos (Likens e Bormann, 1974; Miranda, 1997; apud Silva *et al*, 2007), (figura 4).

O ponto de vista de Likens & Bormann (1974) se baseia na conceituação dos ambientes como ecossistemas separados ligados pelos vetores em questão, enquanto que aqui se aceita que esses ambientes são fases de um mesmo ecossistema.

Figura 4. Adaptação esquemática da abordagem de Likens e Bormann (1974), que representa a movimentação de nutrientes e energia entre os ambientes terrestre e aquático, através dos vetores meteorológico, geológico e biológico. Os ecossistemas Terrestre e aquático, conforme esses autores, são descritos aqui como ambientes de um mesmo ecossistema.

Embora sejam duas conceituações opostas, elas coincidem em que há uma ligação dos ambientes pelos vetores e através do fluxo de nutrientes e energia mencionados.

No Brasil existe uma padronização dos atributos que afetam a qualidade da água; a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2009) define cinco variáveis de qualidade d'água que devem ser consideradas quando se tratar do consumo humano: físicas, químicas, microbiológicas, hidrobiológicas e ecotoxicológicas.

Por outro lado, existe também uma série de parâmetros que condizem a respeito da qualidade da água em relação aos requerimentos agropecuários.

Fora do aspecto utilitário, muito pouco se conhece sobre os requerimentos de qualidade desse elemento a respeito do meio ecossistêmico, e menos ainda a respeito de planícies costeiras.

Devido a essa carência, resulta impossível avaliar o ecossistema em questão sem a utilização de tais padrões, assumindo até certo ponto, sua validade como medida da qualidade ambiental do Sistema Bertioiga.

Vale a pena ressaltar que a análise das variáveis químicas consideradas aqui, não tem como objetivo estabelecer se as águas superficiais e subsuperficiais do Sistema Bertioiga resultam aptas ou não para o consumo ou outro tipo de proveito humano, mas sim de fazer uma tentativa de estabelecer critérios que possam ser utilizados para estabelecer uma relação entre a sensibilidade do sistema a mudanças potenciais ou reais, a respeito dessas variáveis.

2.8.1. Variáveis físico-químicas das áreas estuarinas dos rios Guaratuba e Itaguaré.

Como já foi mencionada, a análise do sistema pulsátil desses rios foi feita conforme aos valores da variável pluviométrica observados nas planícies de maré atuais. Essas planícies correspondem à área estuarina de ambos os rios, pelo que é necessário contextualizar os resultados à luz da dinâmica estuarina.

Para este trabalho, se aceita a definição de Pritchard (1967), Kjerfve (1989 e Dalrymple *et al.* (1992), que consideram tanto os fatores restritos como a salinidade ou influência da maré, como as interações entre correntes fluviais, marés e ondas.

Assim sendo, esses autores definem o sistema estuarino como:

"a parte externa de um sistema de vales afogados que recebe sedimentos fluviais e marinhos, contendo fácies influenciadas por processos de marés, ondas e rio. Sua extensão é considerada a partir do limite flúvio-estuarino em direção ao continente, com fácies influenciadas por maré, até o limite estuarino-marinho em direção ao mar com fácies costeiro na foz".

Essa definição resulta muito prática na hora de caracterizar sistemas estuarinos. Como exemplo, Frazão (2003), caracteriza a hidrodinâmica e morfossedimentação do estuário Potengi, utilizando os limites para áreas estuarinas propostos por Pritchard (1967) e Dalrymple *et al.* (1992), conforme a figura 5.

Figura 5. A) Limites da área estuarina conforme Pritchard (1967), Kjerfve (1989) e Dalrymple *et al.* (1992), marcados por 32 PSU em direção ao mar, e 0.1 PSU em direção ao continente. B) Distribuição dos processos atuantes nos estuários. C) Extensão da pluma estuarina e seção axial da localização dos diferentes depósitos conforme os processos atuantes nos estuários. Fonte: Adaptado e modificado de Dalrymple *et al.* (1992), Frazão (2003) e USBA (2011).

Conforme esses autores, a salinidade varia entre um limite de 30-35 PSU (em direção ao oceano) entre as fácies dos sedimentos estuarinos e marinhos, até 0,1 PSU na parte interna (rio acima), sendo este último o limite de fácies entre sedimento marinho e fluvial (figura 5).

Nas zonas estuarinas, a influência da maré estende-se para montante do limite da intrusão salina (FAIRBRIDGE, 1980, *apud* FRAZÃO, 2003), considerando-se até 0,05 PSU o limite aceitável dessa influência marinha.

2.8.2. Caracterização das águas subsuperficiais do Sistema Bertiooga

Além do fluxo lateral d'água característico dos sistemas pulsáteis, já na planície acontece também um fluxo vertical desse elemento, criando os depósitos de água que finalmente atuam como solventes dos nutrientes necessários para a manutenção da vegetação autóctone.

Essa água preencheria todos os espaços porosos e permeáveis dos solos (ou rochas, ou ambos) em uma zona de saturação, cuja delimitação com a zona de areação desse solo é chamado de lençol freático - NA - (WINGE, 2001).

O registro do NA nas diferentes fases do pulso tem grande importância para este trabalho, além das suas implicações ecológicas, por sua relação com a precipitação e as vazões dos rios.

Por tanto, a medição dos lençóis é um teste à tese proposta de que a pluviosidade é uma variável indicadora fiável do pulso hidrossedimentológico mesmo.

A caracterização das águas subsuperficiais também tem a ver com os fatores que entrariam em jogo para determinar, tanto as condições em que se daria a retenção hídrica, como mesmo as características físico-químicas da água retida.

Entre esses fatores, no Sistema Bertiooga tem-se aqueles relacionados com a quantidade de água disponível, como a pluviosidade, a vazão dos rios e a amplitude do pulso de inundação.

Além disso, outros fatores estão relacionados com a estacionalidade climática, como o tipo de sazonalidade que apresenta o sistema (sejam estações de climas temperados ou tropicais), e outros estão relacionados com as características físicas e químicas dos substratos que compõem os diferentes ambientes sedimentares do sistema, que afeta a taxa de infiltração d'água do lençol, e influem obviamente nas características físico-químicas dessa água, e ainda a capacidade de intrusão da cunha salina.

Por último, um fator muito importante é aquele relacionado com a capacidade de intrusão da cunha salina por causa das características fisiográficas e geomorfológicas do terreno, que na área está especialmente relacionada com a área de influência da zona estuarina.

2.9.CONTEXTO ECOSISTÊMICO

DA PLANÍCIE COSTEIRA E BAIXA ENCOSTA.

2.9.1. Classificação.

A organização ecossistêmica, ou simplesmente ecossistema, embora tenha diversas acepções, entende-se fundamentalmente como a associação entre organismos vivos e substâncias abióticas que a utilizam como meio de subsistência, formando um sistema que ocupa um espaço geográfico determinado (MATEO-RODRIGUEZ, 2000).

Conforme Mateo-Rodriguez (2000), no seu estudo normalmente são analisadas só as relações e processos vinculados com os organismos, conferindo-lhe um caráter de complexo mono ou biocêntrico.

A planície costeira de Bertioga é um geossistema que se caracteriza por sua complexidade do ponto de vista ecossistêmico, especialmente influenciada pelo sistema hidráulico e seu regime hidrológico, que moldura o mosaico de ambientes sedimentares que a compõe.

Essas planícies incluem formações vegetais reconhecidas na legislação nacional como “restingas” (Res. CONAMA nº 07/1996), ecossistemas que abrigam uma rica biodiversidade, a sua vez que sofrem de grande vulnerabilidade à pressão imobiliária e turística.

Na região, Souza (2006) propõe a denominação de “vegetação de planície costeira e baixa encosta” (a exceção do manguezal), para estas formações vegetais, as quais apresentam uma aparente heterogeneidade espacial, consideradas comunidades geopedológicas (SOUZA *et al.*, 2007; 2008) pelo fato de estarem ligadas às características do substrato geológico e pedológico (SOUZA *et al.*, 1997; 2008; entre outros) dos ambientes sedimentares quaternários aí localizados (pleistocênicos a atuais).

Várias classificações têm sido propostas para definir os maciços florestais que nos ocupam, e, exceto para o manguezal, variam de acordo com a ênfase que o autor coloca no

tipo de ambiente que lhe serve de sustentação e a escala de trabalho. Essa ênfase pode ir desde a litologia, geomorfologia, pedologia ou ainda no sistema hídrico da região de interesse.

Souza (2007; 2008) e Souza *et al.* (2007, 2008), tipificou a vegetação da planície costeira e baixa-média encosta nas bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba. Os tipos que propõe são: Floresta Alta e Floresta Baixa de Restinga, Floresta Alta de Restinga Úmida e áreas não diferenciadas denominadas como Complexo Floresta Alta de Restinga Úmida/Floresta Alta de Restinga, Floresta Aluvial, Floresta Paludosa e Floresta de Transição Restinga-Encosta.

Anteriormente, Rossi (1999), propôs o termo “complexo de restinga” para definir a vegetação da planície costeira. Esse autor, usando fotointerpretação e dados de campo, elaborou um mapa de coberturas vegetais da bacia do rio Guaratuba, utilizando como descritores a estrutura, porte, homogeneidade de dossel, compartimentação topográfica em que se encontra e presença de água no sistema.

Assim, além dos tipos presentes no planalto, conseguiu identificar três (03) unidades de cobertura vegetal para a Encosta e 10 para o Complexo Vegetacional da Restinga: Vegetação de encosta: Mata de porte arbóreo alto a médio (20 a 15 m de altura), Mata de porte arbóreo médio a baixo (15 a 10 m de altura) sem copas emergentes, Mata de porte arbóreo médio (15 m de altura) sem indivíduos emergentes.

No Complexo Vegetacional da Restinga: Mata de porte alto (20 m de altura) com indivíduos emergentes e bem distintos (transição mata de encosta/restinga, Mata arbórea higrófila de porte alto a médio (20 a 15 m de altura) sem indivíduos emergentes, Mata arbórea higrófila de porte alto a médio (20 a 15 m de altura): com indivíduos emergentes, Mata arbórea higrófila com indivíduos emergentes, Mata higrófila de várzea (ciliar), de porte médio a alto (15 a 20 m de altura, Mata higrófila de porte médio a baixo (15 a 10 m de altura) com vegetação pioneira herbácea até arbustiva a arbórea; Mata hidrófila especializada (Paludosa - caxetal), de porte médio a alto (15 m de altura) sem indivíduos emergentes e dossel contínuo.

Ressaltam nessa tipificação a distinção funcional da vegetação arbórea em tipos de porte/dossel, e a presença de água no sistema, associados à presença/ausência de copas emergentes: Mata alta (15 a 20 m de altura), média a baixa (10 a 15 m de altura) e baixo (8 m de altura).

França & Rolim (2000, *Apud* LÓPES, 2007) estudaram a estrutura da vegetação de um trecho da planície costeira na Bacia do Rio Itapanhaú e identificaram um mosaico de comunidades em diferentes estados de regeneração, e Girardi (2001, *Apud* LOPES, 2007) em

seu mapeamento do uso do solo na Bacia do Rio Itaguapé, definiu os principais tipos fisionômicos com base em: altura, dossel, grau de homogeneidade das copas, tipo de sedimento associado e grau de alteração da vegetação, descrevendo-os por meio de diagramas de perfil.

Os tipos de formações florestais não alteradas para a planície costeira que propõe Girardi (2001, apud LOPES, 2007) são: Floresta Fechada médio-alta Heterogênea sobre planície marinha com cordões; Floresta Semi- Aberta alta Heterogênea sobre planície marinha; Floresta Aberta baixa Heterogênea sobre planície fluvial (mata de várzea); Floresta Aberta baixa Homogênea sobre planície fluvial (mata de várzea); Floresta Aberta alta Heterogênea sobre planície detrítica mista; Floresta Aberta alta Homogênea sobre planície detrítica mista; Floresta Fechada baixa Homogênea sobre planície detrítica mista.

Esse leque de classificações, embora baseados em evidências de peso, as diferentes abordagens utilizadas antepõem um desafio semântico na hora de comparar os resultados de tais trabalhos, pelo que resulta necessário procurar uma base que unifique os critérios para a avaliação das comunidades vegetais da região.

Finalmente, num trabalho recente (Sobrinho, 2012) fez uma análise da cobertura vegetal desde diferentes ângulos (riqueza de espécies, área basal, similaridade, etc), utilizando a classificação proposta por Souza (2008), baseado no conceito de bioma, com algumas modificações.

Nesse trabalho foi realizado um inventário da vegetação e proposta uma classificação dos sub-biomas, com base nos tipos propostos por Souza *et al.* (2009).

Sobrinho (2012) observou que nas Florestas presentes nos Sub-Biomas com Substrato de Origem Marinha das bacias do Itaguapé e Guaratuba, a Floresta Alta de Restinga (SB-FaR 1, 2, 3) apresenta a maior riqueza de espécies quando comparado a todos os sub-biomas desse tipo de substrato, não havendo diferença estatística entre os diferentes tipos de FaR das duas bacias. Também observou que entre as Florestas baixas (SB-FbR) de a maior riqueza se observa Em Guaratuba.

Segundo esse autor, SB- FbR/Itaguapé é a área que apresenta a maior densidade de indivíduos estimada por hectare, seguida de FaR2/Guaratuba, e a menor densidade se apresenta no SB-FaR3 da planície costeira do Itaguapé.

Esse autor também observou que os sub-biomas que apresentaram maiores áreas basais (AB) médias são SB-FaR2/Guaratuba, SB-FaR1/Guaratuba e SB-FaR3/Itaguapé, não

havendo diferença estatística entre os valores médios de AB entre essas áreas. SB-FbR/Itaguapé apresentou maior valor médio, quando comparado ao SB-FbR/Guaratuba, sendo estatisticamente diferente. Mas esclarece que os resultados se devem não pelo maior desenvolvimento diamétrico das árvores e sim pela maior abundância das mesmas.

Na figura 6 se apresentam os resultados obtidos por esse autor (Sobrinho, 2012) a respeito da medição da área basal das florestas presentes nos subssistemas Itaguapé e Guaratuba do Sistema Bertioga.

Figura 6. Variação na área basal das florestas presentes nos sub-biomas com substrato de origem marinha (a) e continental (b), conforme Sobrinho (2012). EP = erro padrão; DP = desvio padrão.

Ele também observou que as florestas que se encontram sobre substratos mais antigos (Pleistocênicos) apresentaram as maiores correlações de DAP, apresentando o padrão mais vertical na dispersão das alturas a respeito das florestas dos outros ambientes sedimentares.

Nas Florestas presentes nos Sub-Biomas com Substrato de Origem Paleoestuarino-lagunar, esse autor encontrou que a maior densidade de indivíduos e de espécies se observa no estrato superior (ES) do SB-FaRu, sub-bioma que também apresenta um padrão mais verticalizado na dispersão das alturas em relação aos diâmetros, mostrando um maior desenvolvimento em altura com indivíduos emergentes, alcançando 33 m.

Por outro lado, encontrou que o maior desenvolvimento em altura ocorre nos sub-biomas sobre substrato de origem continental, vindo em primeiro o SB-FAL, seguido do SB-FTr2 e do SB-FTr1, áreas que apresentaram o maior número de indivíduos na última classe de alturas (30-35m).

Nas florestas sobre substrato marinho o maior desenvolvimento ocorre nos sub-biomas com substratos formados no pleistoceno, vindo primeiro o SB-FaR3/Guaratuba,

seguido do SB-FaR3/Itaguapé, enquanto que os sub-biomas formados pela Floresta baixa de Restinga atingem as menores alturas.

Semelhanças na distribuição dos indivíduos dentro das seis classes de alturas que esse autor utilizou ocorrem entre as Florestas Paludosas (SB-FPa) e as úmidas (SB-FaRu), e entre as florestas Altas e as de transição restinga-encosta (SB-FaR2/Itaguapé e entre o SB-FTr1, SB-FTr2 e o SB-FaR3/Guaratuba).

Finalmente, esse autor sugere que em geral, as florestas Altas e as florestas aluviais apresentam os maiores valores de correlação entre as alturas e os diâmetros, mostrando um padrão mais verticalizado da dispersão das alturas segundo o gráfico de relação alométrica.

2.9.2. Mapeamento das formações vegetais.

A vegetação da área de estudo foi diferenciada por LOPES (2007), com base nas unidades geomorfológicas quaternárias mapeadas por SOUZA (2007). Nela ocorrem diferentes tipos de floresta de restinga, manguezais, fragmentos de floresta paludosa e ombrófila (figura 7).

Na tabela 3 se relacionam espacialmente os ecótopos com as características litológicas, geomorfológicas e pedológicas, com base nos resultados obtidos por Lopes (2007) e as unidades quaternárias refinadas por Badel-Mogollón & Souza (2009) a partir das UQs propostas por Souza (2007).

2.9.3. Proposta de classificação da cobertura vegetal com base no NDVI relativo.

Visando a necessidade da unificação dos critérios para a avaliação das comunidades vegetais da região, foi feita uma classificação da vegetação baseada nas suas funções, invés da identidade taxonômica ou nas relações filogenéticas, considerando obviamente todos os critérios utilizados pelos diversos autores, descritos nos parágrafos anteriores.

Normalmente os grupos funcionais são utilizados para descrever modelos de comunidades organizadas (DYER *et al.*, 2001), baseado em conjuntos de características correlatas (LAVOREL *et al.*, 1997).

Uma vantagem da análise de grupos funcionais é que permite usar informações que relacionem características que prevejam a resposta da vegetação a mudanças no meio ambiente, em lugar de informações detalhadas de cada espécie (DYER *et al.* 2001).

Figura 7. Mapa de Vegetação de Planície Costeira e Baixa Encosta das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba. Fonte: Lopes (2007).

Veg	Mapa	Caraterísticas litológicas	Caraterísticas geomorfológicas	Caraterísticas pedológicas (SBCS, 2009)
Floresta Baixa de Restinga (FbR)		Depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, algumas vezes coberto por depósitos eólicos holocênicos a atuais	Cordões litorâneos regressivos, morfologia bastante ondulada e cotas baixas	Neo-suelos Quartzarênicos, solos Espódicos Humilúvicos
Floresta Alta de Restinga (FaR)		Depósitos marinhos pleistocênicos, mais antigos que em FbR, podendo estar cobertos pelos depósitos eólicos pleistocênicos	Planícies de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos; terraços marinhos baixos (próximos à linha de costa), intermediários ou altos (distais à linha de costa), as últimas formando montículos isolados, de topo plano a irregular e pouco extenso, em treliça ou em pequenas depressões paleo-lagunares	Solos espódicos humilúvicos e Ferri-Humilúvicos, Solos Glei Hápticos e melânicos, Neossolos Quartzarênicos.
Floresta Alta de Restinga Úmida (FaRu)		Depósitos fluviais holocênicos a atuais, depósitos flúvio-marinhos, lacustres ou pantanosos holocênicos a atuais, podendo estar associados a colúvios de baixada e depósitos aluviais, depressões paleo-lagunares rasas	Planícies de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos; depressões paleo-lagunares holocênicas amplas e colmatadas, localizadas no centro da planície costeira; pequenas depressões paleo-lagunares em treliça a terraços marinhos pleistocênicos mais altos	Solos orgânicos Sápricos e Fíbricos, Sols Glei Melânicos e Hápticos
Floresta Aluvial (FAL)		Depósitos fluviais pleistocênicos	Terraços aluviais altos, planos e amplos	Solos Glei Hápticos; Solos Câmbicos Flúvicos; Neossolos Flúvicos
Floresta de Transição Restinga/Encosta (FTr)		Depósitos fluviais holocênicos a atuais; depósitos mistos não diferenciados (aluviais e colúvios) holocênicos a atuais	Planícies de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos; planície sedimentar e rampas de muito baixa declividade, localizadas no fundo da planície (sopé da Serra), às vezes entrando na planície (abancos aluviais)	Solos Glei Hápticos e Melânicos, Cambissolos Flúvicos e Hápticos, Neossolos Flúvicos e Regolíticos, Latossolos Amarelos
Floresta Paludosa		Como em FaRu, mas em paleo-lagunas mais profundas; depósitos mistos não diferenciados (aluviais e colúvios) holocênicos a atuais	Depressões paleo-lagunares holocênicas amplas e colmatadas, localizadas no centro da planície costeira; planícies de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos	Solos orgânicos Sápricos e Fíbricos; Glei Melânico, Húmicos e Hápticos
cx_FaRu/FPa		Como em FaRu e FPa, mas não diferenciados à escala de mapeamento	Como em FaRu e FPa	Solos orgânicos Sápricos e Fíbricos; Glei Melânico, Húmicos e Hápticos
Cx-FAL/FaRu		Como em FaRu e FPa, mas não diferenciados à escala de mapeamento	Como em FaRu e FPa	Solo orgânico Háptico-Sáprico-Típico; solos Glei Hápticos; solos Câmbicos Flúvicos; neossolos Flúvicos
FPan		Como em FaRu, mas com retenção de água todo o ano por barreiras artificiais (estradas de terra)	Como em FaRu	Solos orgânicos Sápricos e Fíbricos; Glei Melânico, Húmicos e Hápticos
cx_FAL/FPan		Como em FAL e FPan, mas não diferenciados à escala de mapeamento	Como em FAL e FPan	Solos Glei Hápticos; Solos Câmbicos Flúvicos; Neossolos Flúvicos

Tabela 3-. Relação espacial entre os ecótipos e as características litológicas, geomorfológicas e pedológicas no Sistema Bertioja. Adaptado de Badel-Mogollón & Souza (2012).

Entre as diversas maneiras em que pode ser feita essa análise, foi escolhida a medição do NDVI, acrônimo de Normalized Difference Vegetation Index (índice de Diferença na vegetação Normalizado), aplicado a imagens de satélite, para sua posterior validação por meio de dados de campo.

A razão para a utilização dessa aplicação, é que permite explorar a vegetação por si mesma, através das propriedades espectrais da densidade da cobertura vegetal, especialmente o comportamento antagônico da reflectância que ela apresenta nas regiões do visível e do infravermelho próximo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

2.9.4. Agrupamento das geoformas e tecnogeoformas da planície costeira e baixa encosta, com base no NDVI relativo.

Com base na interpretação das variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM, geradas pela iniciativa TOPODATA, foi efetuado um refinamento espacial das Unidades Quaternárias (UQ) aflorantes, tipificadas por Souza (2007) para a área mencionada.

A partir dessa nova base, foi elaborado um novo tratado espacial das UQs (geoformas), cujo objetivo foi quantificar sua modificação em tecnogeoformas (TGFs), ou seja, a perda da sua estrutura superficial e subsuperficial por causa da artificialização do terreno⁵.

Na sequência, com base no sistema de classificação proposto (descrito nos parágrafos anteriores), o passo seguinte foi classificar a densidade da cobertura vegetal em grupos funcionais, aplicando o Índice NDVI.

A par foi realizada uma análise exploratória da similaridade das geoformas e tecnogeoformas, em função da presença e extensão relativa desses tipos de densidade de cobertura vegetal.

Para essa análise exploratória foi escolhida a clusterização hierárquica espacial das UQs e as TGFs. Para tal foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson r para validar os resultados.

Em síntese, o objetivo foi propor um agrupamento das geoformas/tecnogeoformas da planície costeira e baixa encosta de Bertiooga, a partir da diferenciação da densidade da

⁵ No presente trabalho será usado o termo “geótipo” de maneira indistinta para as geoformas e tecno-geoformas.

cobertura vegetal através do NDVI. A hierarquização dos geótipos foi feita de acordo à ligação completa e o coeficiente *Pearson r* dos grupos funcionais de vegetação.

Essa hierarquização foi utilizada dentro do marco do projeto como insumo na avaliação ambiental do território, na hora de definir os impactos (efeitos) potenciais ao meio ambiente, causados pelo uso e manejo do território.

2.10. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO TERRITÓRIO

As características dos componentes ambientais foram avaliadas em níveis de *sensibilidade* (integração da *importância ecológica*⁶ dos componentes e sua *vulnerabilidade*⁷), e os efeitos são avaliados em níveis de *intensidade potencial*⁸, numa série de causas/efeitos nas relações entre fatores naturais e antrópicos.

A resultante do cruzamento destas duas variáveis (Sensibilidade x Intensidade Potencial de efeitos) é o valor do *Risco Ecológico* para uma área dada e, como tal, susceptível de ser representada de maneira cartográfica (SALAS, 2002).

Entende-se tradicionalmente por Risco Ecológico como uma avaliação ambiental do território do ponto de vista verbal-argumentativo (FARIA, 1996; SALAS, 2002), quer dizer, busca explicitar o raciocínio legal, técnico ou político que levou a um resultado (SALAS, 2002).

No sentido tradicional, inclui a identificação e *mapeamento* das diversas potencialidades dos ecossistemas, a documentação de efeitos ambientais dos usos atuais e planejados, operação dos requerimentos ambientais para tomar decisões, o desenvolvimento e a disposição de critérios para avaliação de impactos ambientais e aporte de critérios para a proteção da natureza e a paisagem cênica do território (BACHFISCHER, 1980, *Apud* SALAS, 2002).

Neste esquema, o planejamento ecológico segue uma sequencia cronológica de trabalho: uma etapa de aquisição de dados, chamado aqui de *Inventario territorial* (i); uma etapa de processamento e análise de dados, chamado aqui de *Avaliação ambiental do território* (ii); uma etapa de emissão de conclusões e recomendações, chamadas aqui de

⁶ Chama-se *Importância Ecológica* de um componente ao valor relativo da função ecológica e ambiental que cumpre esse componente dentro do contexto avaliado.

⁷ Chama-se *Vulnerabilidade ambiental* ou susceptibilidade ambiental, às restrições ou limitações de um componente específico, para absorver efeitos ambientais e recuperar-se das intervenções antrópicas

⁸ Chama-se *Intensidade Potencial de efeitos* ao valor ou qualificação dos efeitos ambientais de usos, atividades e outras intervenções antrópicas, sobre o componente avaliado.

Emissão do conceito reitor (iii), e por último, uma etapa de formulação de *recomendações de Medidas ambientais sugeridas para o uso sustentável do território (iv)*.

No *inventário territorial (i)* foi feita uma compilação e sistematização da informação primária (dados de campo) e secundária (dados provenientes de outras pesquisas) pertinente à área de estudo representada em base cartográfica digital.

Nesta etapa também foi feita uma sistematização da informação ambiental disponível dos componentes ambientais que foram considerados: *Hidrologia e clima*, (precipitação, balanço hídrico, Águas superficiais e subsuperficiais), *Solo*, *Vegetação* e *Paisagem cênica*, cujos dados foram levantados no trabalho de campo desta pesquisa, mas também através da literatura, além dos disponibilizados por diferentes órgãos estatais e municipais.

A *avaliação ambiental do território (ii)* foi feita conforme os diferentes componentes ambientais, segundo sua relevância, sensibilidade e risco ecológico. Já no *conceito reitor (iii)* foram expostos os objetivos ambientais para o desenvolvimento territorial. Por último, nas *medidas corretivas (iv)* se propõem as medidas e requerimentos ambientais para o uso sustentável do território.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1.Localização

A área de estudo trabalhada se localiza ao Norte da Baixada Santista, litoral do Estado de São Paulo (Brasil), enquadrada aproximadamente entre as coordenadas 23°48'04"S - 46°03'92"W e 23°40'40"S - 45°48'26.8"W (figura 8).

De acordo com a informação oficial da prefeitura de Bertioga, a região está dividida hidrograficamente em três bacias principais: Rios Guaratuba (14 km), Itaguapé (12,5 km) e Itapanhaú, de 39 km. A área estudada abrange só as duas primeiras bacias.

Figura 8. Município de Bertioga. No enquadramento a área de estudo. Composição colorida usando as Bandas 1, 2 e 3 do satélite CBERS (20060823L2). Escala compatível 1:50.000.

O clima é Tropical temperado com Ventos do Quadrante leste. O índice pluviométrico varia entre 2.692 mm/ano a 3 m de altitude e 4.597 mm/ano a 720 m de altitude.

A pressão atmosférica média varia entre 1.010 milibares no verão até 1.018 milibares no inverno. As principais atividades Econômicas: incluem comércio, turismo, pesca e construção civil.

3.2.Diferenciação zonal.

As características da zonalidade altitudinal se assemelham às definidas para regiões equatoriais e tropicais úmidas, que se enquadram dentro da faixa Tropical do sistema de

zonalidade da Paisagem de Milkov (1990, *apud* MATEO-RODRIGUEZ, 2000). Essas características são:

- Esse tipo zonal permite a formação de solos Podzólicos e também Cambissolos, e predomínio de floresta úmida (MATEO-RODRIGUEZ & SILVA, 2002).
- Tanto no tipo zonal equatorial como o tropical úmido há uma coincidência entre a divisão geomorfológica e o mega-relevo, e a situação pouco alta do nível do mar.
- É muito pouco clara a diferenciação entre diversas exposições das vertentes.

A planície costeira corresponde a um mega-relevo composto por um complexo geológico-geomorfológico, que inclui terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos altos e baixos, terraços de origem aluvial e coluvial, todos interagindo em maior ou menor medida com áreas paleoestuarino-lagunares e estuarinas.

A rede de drenagem está entalhada pelo relevo plano a levemente ondulado. Os rios nascem nos anfiteatros da Serra do Mar, sistema montanhoso que limita a planície pelo Norte.

3.3.A bacia do Rio Guaratuba

O rio Guaratuba⁹, com uma extensão de 8-9 km aproximadamente, apresenta uma bacia hidrográfica de 108,78 Km², vazão média de longo período (Q_{lp}) de 5,70 m³/s (CEMA, 2009) e vazão mínima ($Q_{7,10}$)¹⁰ de 1,39 m³/s (INSTITUTO EKOS, 2008), sendo que suas águas são captadas para seu uso pelo condomínio Morada da Praia, empreendimento urbano por cuja causa foi interrompido o funcionamento normal da rede de drenagem.

Sua nascente se localiza no planalto da Serra do Mar, conformando um rio de terceira ordem, segundo a classificação de Horton-Strahler¹¹.

Conforme Oliveira (2003), no passado o rio Guaratuba não descia a Escarpa, mas ia em direção ao Rio Claro, passando pelo corredor deprimido que ligava esses dois rios. Posteriormente, o rio Guaratuba foi capturado pela erosão regressiva da Escarpa da Serra do Mar, por recuo de cabeceira e, conseqüentemente, por transbordamento.

Sua captura fez com que ele saísse da sua direção original NE-SW e abrisse uma garganta, descendo a Escarpa, em uma direção geral N-S (OLIVEIRA, 2003).

⁹ Guaratuba: para os índios significa "lugar onde a onça vem beber água"...

¹⁰ $Q_{7,10}$ = vazão mínima disponível de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos.

¹¹ Classificação proposta por Horton (1945), e modificada por Strahler (1957)

Um prognóstico dessa autora indica que o corredor entre o Rio Claro e o Rio Guaratuba poderia ser o palco de uma nova captura, desta vez do primeiro pelo segundo, através do corredor que antes teria funcionado em sentido inverso (OLIVEIRA, 2003).

As implicações para a planície seriam muito sérias. A consequência mais evidente é que provavelmente o aumento da vazão do rio Guaratuba implique também um aumento da energia erosiva na elevada declividade da Escarpa e ainda na planície.

A par desta consequência, haveria um aumento tanto da lamina superficial d'água nas áreas alagáveis, como na taxa de sedimentos transportados e depositados na planície, e as subsequentes alterações ecossistêmicas.

3.4.A bacia do Rio Itaguapé

O rio Itaguapé se caracteriza por ter uma área de drenagem de 108,2 Km², e uma extensão de 12,5 km (CEMA, 2009), e está formado pelos afluentes dos rios Vermelho e Cachoeirinha Grande (que têm seu início no município de Biritiba-Mirim) e, ainda, pelo Rio Perequê-Mirim que nasce na encosta da Serra do Mar (CEMA, 2009). Em face da classificação de Horton-Strahler, o Itaguapé se classifica como um rio de 4^{ra} ordem.

Conforme o Instituto Ekos (2008), em uma $Q_{7,10}$ de 1,38 m³/s, mas não se tem informação da sua vazão média. Comparadas as áreas de drenagem e as $Q_{7,10}$ reportadas tanto para o Itaguapé como para o Guaratuba, e pelas características observadas em campo, assume-se que o valor da vazão média deste rio, originalmente deveria ser muito próximo ao reportado para o Guaratuba.

Contrário ao Rio Guaratuba, a rede de drenagem do Rio Itaguapé não tem evidência de algum tipo de alteração referente à captura fluvial. Por tanto, é muito possível que a vazão média e máxima no Itaguapé seja bem menor no Itaguapé.

4. ABORDAGEM METODOLÓGICA

4.1. Levantamento de informação e processamento de dados

4.1.1. Marco geral.

O levantamento de informação (primária e secundária), e o processamento de dados foram desenvolvidos basicamente em três etapas: gabinete; trabalho de campo; e laboratório, com a finalidade de contextualizar espacialmente os componentes avaliados (solos, águas, vegetação).

Na etapa de gabinete foi feito o levantamento teórico e cartográfico, a interpretação ecológica e ambiental, e uma primeira aproximação à identificação de fases de vegetação, conforme aos critérios sugeridos pelo IBGE (1992).

Essa identificação foi útil como recurso para indicar mudanças na morfologia ou situações particulares dos solos, seguindo os critérios de distinção de fases de mapeamento sugerido pelo IBGE (2007).

A distinção de fases de mapeamento foi feita através da interpretação de imagens de satélite (multiespectral e de radar) e fotografias aéreas e, por último, realizando um reconhecimento de campo. Após essa visita, foram feitos os ajustes para o trabalho de campo.

Em geral, essa etapa foi desenvolvida antes, durante e depois do trabalho de campo, dando-se por terminada com a apresentação dos resultados da presente pesquisa.

As atividades de laboratório compreenderam a realização de análise granulométrica e química (de rotina e micronutrientes), análise da química das águas e da cobertura vegetal, sendo que as relacionadas com os solos foram realizadas externamente por laboratórios especializados. A continuação se descreve com maior detalhe os métodos utilizados para o levantamento de informação de campo.

Na figura 9 se apresenta o ciclo completo do projeto, partindo da abordagem do problema para a elaboração desta proposta, até os resultados esperados e uma série de produtos subsidiários que podem ser providos pelo projeto, conforme Faira (1996), Salas (2002), Neotrópicos (2001) e aportes originais do autor desta proposta.

Figura 9. Abordagem metodológica do projeto. O esquema é cíclico e segue uma ordem cronológica na sua execução. As linhas tracejadas mostram como o projeto pode gerar subsídios aproveitáveis por diferentes setores diferentes ao acadêmico ou científico.

4.2. Processamento e análise de dados com base em SIG.

4.2.1. Roteiro da pesquisa.

Segundo LIBAULT (1971) e MORAIS-CASTRO (1998), a abordagem geográfica deste estudo exige a utilização de roteiros que clarifiquem o tratamento que se daria aos dados que se utilizarem para geração dos mapas, tanto conceitualmente, quanto metodologicamente. Tomando a pesquisa como universo de estudo, teriam quatro tipos de níveis de tais pesquisas: compilatório, correlatório, semântico e normativo. Para este trabalho, foi adotado tal roteiro, com suas respectivas adaptações para a índole desta pesquisa (figura 10).

Figura 10. Roteiro da investigação, segundo o esquema de MORAIS-CASTRO (1998). Todos os níveis são encerrados pela otimização para chegar à generalização dos resultados obtidos, dentro do universo de estudo.

4.2.2. Nível de compilações.

Como já foi dito, para o SIG o trabalho teve início, conforme o roteiro de investigação, no Nível de Compilações (Figura 10), por meio de:

- A definição do universo geográfico, do levantamento bibliográfico, da documentação cartográfica, da definição da área e escala de estudo, da definição das cartas de base e temáticas, e trabalhos de laboratório.
- Criação de um conjunto de matrizes, na forma de Planos de Informação (PI's), num Sistema de Informação Geográfica (SIG), ou, como está sendo conhecido ultimamente, Sistema Geográfico de Informações (SGI).
- Codificação do projeto por meio de uma sigla identificadora (propõe-se REB, como sigla de Risco Ecológico nos fragmentos florestais estudados em Bertiooga).
- Definição da escala. 1:50.000 (ver item “escala de operação”), projeção UTM envolvendo os pares de coordenadas planas a partir da Carta Topográfica do Sistema Cartográfico do estado de São Paulo.
- Geração de bases de dados: base de dados Geográficos e alfanuméricos:
 - i) Dados geoecológicos: Unidades geomorfológicas, habitats. Busca-se a discriminação de áreas ecológicas em concordância com as geológicas, edafológicas e hidrológicas.
 - ii) Dados hidrológicos e climatológicos: Base de dados sobre a hidrologia e clima local (dados de temperatura, precipitação, umidade, etc.).
 - iii) Dados de uso atual da terra: Tipo de uso atual da terra, no ponto de amostragem.

4.2.3. Nível de Correlações.

Para atingir o Nível de Correlações, o passo seguinte consistiu na seleção das variáveis ambientais necessárias para avaliação do risco ecológico da região.

Logo foram criados os PI's das variáveis ambientais, e posteriormente foram fornecidas as categorias das variáveis (polígono, Modelo Numérico do Terreno – MNT – ou Modelo Digital de Elevação – MDE -).

4.2.4. Nível Semântico.

No Nível Semântico, foram estabelecidas as regras de correlação entre as variáveis. Nesta correlação, adverte MORAIS-CASTRO (1998), existe uma transição, conforme o

roteiro de investigação, do Nível de Correlações para o Nível Semântico; nível este que se caracteriza pela síntese.

Foi utilizado o aplicativo IDRISI, versão 15 (Andes), como aplicativo de processamento de SIG. A escolha do modelo dependeu dos dados disponíveis e de sua capacidade de gerar um campo espacial e temporal, simulando os efeitos de diferentes sistemas ou fatores ambientais, como por exemplo, erosão, precipitação, etc (BRAGA da SILVA e CRESTANA, 2004).

4.2.5. Nível Normativo.

O Nível Normativo é atingido através da obtenção do Mapa de Objetivos Ambientais Zonificados (OAZ), possibilitando ao planejador estabelecer diretrizes para o gerenciamento do espaço de forma rápida, precisa e eficiente; valorizando a Cartografia no seu potencial técnico e a Geografia nas suas características de análise e síntese. Para cada objetivo foi feita uma análise multi-critéria de concordância/discordância, de acordo com dois indicadores ambientais, *Sensibilidadade ecológica e intensidade Potencial de efeitos*.

4.3. Métodos adotados para a contextualização espacial dos ambientes sedimentares.

4.3.1. Refinamento espacial dos ambientes sedimentares da planície costeira e baixa encosta.

Prévio ao trabalho de campo foi realizado o refinamento dos ambientes sedimentares propostos por Souza (2007), com a finalidade de aumentar a acurácia da espacialização dos componentes ambientais considerados no planejamento ecológico do território estudado, conforme o recomendado por Martins (2009).

O foco desse trabalho foi o aproveitamento do SIG para operações que vão além das operações de visualização (onde o usuário tira conclusões que, embora valiosas, são de caráter intuitivo).

Por tanto o trabalho se encaminhou para uma primeira aproximação estatística a fim de definir as variáveis geomorfométricas comparáveis da planície costeira e baixa encosta da área de estudo, e um posterior refinamento dos ambientes sedimentares presentes, cuja

importância dentro da pesquisa radica na criação de um insumo fundamental para posteriores estabelecimentos de relações causais entre os ambientes físicos e ecológicos.

Com base nessa informação e de acordo com dados qualitativos (imagens de classes), foram definidas quais as comparações de variáveis geomorfométricas teriam significância para a planície costeira e baixa encosta estudada.

Sob essa abordagem conceitual, restaria definir se o padrão observado é aleatório ou apresenta uma agregação definida, e se esta distribuição pode ser associada a causas mensuráveis. Também possibilitava comparar os dados das imagens por pares através de correlações cruzadas, além de avaliar probabilidade estatística de associação das categorias e a frequência de ocorrência de cada combinação possível das categorias entre pares de imagens. Por último, sob esse esquema foi possível calcular a dependência espacial dos valores dos atributos das variáveis mediante o cálculo do coeficiente de autocorrelação.

Para o refinamento das unidades quaternárias foram reclassificadas as imagens obtidas pelos Planos de Informação (PI's) numéricos gerados na iniciativa Topodata (INPE, 2009), que oferece acesso livre a variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Os resultados desse trabalho foram apresentados no 9th International Symposium on GIS and computer Cartography for coastal Zone Management (BADEL-MOGOLLÓN & SOUZA, 2009).

O desenvolvimento metodológico foi o seguinte:

Foram aplicadas técnicas estatísticas aos dados qualitativos referentes aos MDE referentes à Altitude (ZN), Orientação de vertentes (ON) e Divisores e Talvegues (DD), as quais foram reclassificadas e assumidas como variáveis de estudo. Além disso, foram utilizadas as imagens referentes à curvatura horizontal (H5) e vertical (V5), e Forma do Terreno (FT), já disponibilizadas em classes pelo projeto TOPODATA.

TOPODATA também disponibilizou PI's de Declividade, tanto numérico quanto reclassificadas e oferecidas em três apresentações: SA (4 classes: Marques, 1971), SB (7 classes: Lepsch *et al.*, 1991) e SC (6 classes: EMBRAPA, 1999). Para este trabalho, optou-se pelo uso das imagens já reclassificadas pela vantagem que representou que nelas já foi suavizado o excessivo detalhamento dado pela variabilidade espacial da declividade.

O objetivo deste refinamento foi definir quais as comparações de variáveis geomorfométricas tem significância na planície costeira e baixa encosta do município de Bertiooga, de acordo com dados qualitativos (imagens de classes). Por meio dessa abordagem

foi possível definir se o padrão observado é aleatório ou apresenta uma agregação definida, e se esta distribuição pode ser associada a causas mensuráveis.

Também foi possível comparar os dados das imagens por pares através de correlações cruzadas. Outro ponto foi que também se Avaliou probabilidade estatística de associação das categorias e a frequência de ocorrência de cada combinação possível das categorias entre pares de imagens. Por último, foi possível calcular a dependência espacial dos valores dos atributos das variáveis mediante o cálculo do coeficiente de autocorrelação.

Foram usados os Modelos digitais de Elevação, conhecidos como MDE, disponibilizados, com foi mencionado, pelo projeto TOPODATA, a cargo do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 2009). Tais dados oferecem uma distribuição contínua da resolução espacial (distâncias horizontais) e processos de derivação já aprimorados, além do realce das representações pictóricas.

Os dados utilizados estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000 (folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude), ora planejadas para suprir mapeamentos em escalas entre 1:50.000 e 1:250.000 (VALERIANO, 2008). Todas as imagens foram restauradas sob o sistema de coordenadas UTM, fuso 23s (UTM23S).

Os dados utilizados pertencem à folha 23_465, referentes à região localizada aproximadamente entre 7360468 e 7382570 de Latitude, e 374641 e 431455 de Longitude. A maior parte dos procedimentos foi feita mediante o software Idrisi®, versão 15 (Andes). As imagens têm uma resolução espacial refinada por krigagem de 1 arco-segundo (~30m) na horizontal, e 1m na vertical (VALERIANO, 2008).

O procedimento foi como segue: Numa primeira etapa, foram descarregados os PI's do Banco de dados disponibilizados em formato Idrisi 2.0 pelo INPE (2009), a partir dos quais, e uma vez conferido que a porção da imagem da área de interesse não apresentasse falhas, ela foi cortada com a ferramenta “Window” do menu “Reformat”. O procedimento foi repetido para cada uma das variáveis utilizadas.

Sendo a região de interesse uma área relativamente plana, foi verificado que não houvesse mascaramento por objetos não topográficos (vegetação, prédios e casas), fenômeno conhecido como “efeito dossel”, (VALERIANO, 2008).

Por tanto, os dados altimétricos foram conferidos com outros já obtidos em trabalho de campo e cartografia da região, com a finalidade de inferir a coerência dos dados em setores de

presença reconhecida de esses elementos (vegetação arbórea, condomínios). Para este trabalho, considerou-se o efeito dossel como não significativo.

Todas as imagens foram padronizadas de acordo com os eixos x e y mínimo -máximo, as coordenadas (UTM23S), e o tipo de variável, esta última mediante reclassificação supervisionada. Para este trabalho foi criada uma máscara que excluísse áreas tanto acima de 100 m de altitude quanto às áreas marinhas.

A imagem numérica referente à altitude (figura 11) foi usada como base de cálculo para todas as operações posteriores, sendo ela reclassificada para obter as classes de Altitude.

Figura 11. MDE mostrando a variação altitudinal da planície costeira e baixa encosta de Bertioga. Escala compatível: 1:50.000.

Essas classes de Altitude foram conferidas e confirmadas segundo os dados de altitude ortométrica das estações geodésicas localizadas na área de estudo (figura 12). Tal informação é disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011).

O erro estatístico entre as altitudes observadas e as cotadas pelas estações geodésicas esteve entre 0,05 e 0,43 m. Tal erro se considera baixo à escala trabalhada (1:50.000).

O trabalho passou para uma segunda etapa onde foram feitas as análises estatísticas com o cálculo dos coeficientes de Autocorrelação como primeiro passo, e de correlação cruzada num segundo passo, com a finalidade de estudar a dependência espacial no primeiro intervalo dos valores dos atributos no primeiro caso (baseado nos quatros vizinhos mais próximos – método de Rook-), e comparar os dados qualitativos entre pares de imagens no segundo caso. Nos dois casos foi colocada uma máscara para eliminar dos cálculos as áreas que não eram de interesse para a análise.

Figura 12. Algumas das estações geodésicas localizadas na área de trabalho, com as respectivas altitudes, de acordo com a informação disponibilizada pelo IBGE (2011). Imagem base de Google, Serviço de Mapas (2011).

No primeiro caso, o cálculo estatístico é feito mediante o Índice de Moran (*I* Moran) com a ferramenta AUTOCORR, onde valores positivos indicam autocorrelação positiva, i.e., células espacialmente mais próximas são mais similares; e valores negativos de indicam autocorrelação negativa, i.e., células espacialmente mais próximas são mais dissimilares do que seria esperado ao acaso (ROSSI & QUÉNÉHERVÉ, 1998; DINIZ-FILHO & SANT'ANA, 1998; CARVALHO *et al.*, 2008).

De acordo com Druck *et al* (2004) os dados espaciais assim utilizados podem ser considerados para descrever o padrão espacial da área de interesse como uma única realização de um processo estocástico (não como um conjunto de amostras independentes).

Já no passo seguinte foi feita a comparação dos dados qualitativos assim obtidos entre pares de imagens, mediante a ferramenta CROSSTAB.

Esta ferramenta forneceu listas de frequências de ocorrência de cada combinação possível das categorias das imagens, os totais marginais e o reporte estatístico Chi-quadrado (X^2), com o qual é reportada a probabilidade de associação, graus de liberdade e estatística de Cramer “V” para medir o grau de associação.

Cramer-von Mises pertence à classe quadrática de estatísticas baseadas na função de distribuição empírica dos dados, e trabalha com as diferenças quadráticas entre a distribuição empírica e a hipotética (LEOTTI, *et al*, 2005).

Formalmente, a correlação cruzada é a medida da interdependência ou relação entre dois processos estocásticos; os valores de V oscilam entre 0-1; se o valor obtido é igual a Um (1), as variáveis estão inteiramente associadas, se o valor é zero (0) as variáveis estão inteiramente dissociadas; se aceita que existe algum grau de associação a partir de $V > 0.30$.

Por fim, esse refinamento foi o insumo fundamental para a definição dos lugares de amostragem em campo, e posteriormente no trabalho de gabinete, realizar as respectivas análises da perda da estrutura superficial e subsuperficial dos ambientes sedimentares, da cobertura vegetal e pedológica, e finalmente, a espacialização probabilística dos componentes ambientais avaliados.

4.3.2. Trabalho de campo e processamento de dados.

O trabalho de campo foi feito considerando principalmente as mudanças na cobertura pedológica. Tal trabalho foi feito visando o levantamento de topossequências arrançadas radialmente (figura 13).

Figura 13. Pontos de amostragem de solos, medições do lençol freático e de dados físico-químicos das águas subsuperficiais. Em amarelo, pontos de coleta para a presente pesquisa; pontos azuis, amostragem de Moreira (2007); pontos laranja: pontos que sugerem limites de alguns solos, após cruzamento de informação sobre fitofisionomias e os pontos de amostragem já descritos. No enquadramento, ampliação de uma área de coleta de amostras, exemplificando a disposição radial utilizada para determinar os pontos de amostragem. Fonte da imagem: Google Earth (2012), serviço de mapas.

Nessa figura se apresentam os pontos de amostragem, mais outros reconhecidos nas imagens de satélite como pontos de mudança da vegetação, mas que por questões logísticas e de tempo disponível para a amostragem, não foi possível a coleta de amostras. Esses pontos são sugeridos como lugares de coleta de amostras em pesquisas futuras.

Em total, entre as duas bacias (Itaguapé e Guaratuba), foram coletadas amostras em 118 pontos, distribuídos entre as diferentes unidades quaternárias. Em cada ponto foi feita a coleta de solos superficiais (0 - 20 cm) para análise granulométrica e química, além de amostras a diferentes profundidades (medidas com o trado previamente marcado) conforme mudava o perfil, até atingir o lençol freático. Nesse ponto era feita a amostragem química das águas subsuperficiais, abrangendo entre 60 e 120 medições dos parâmetros químicos por cada ponto amostrado. A informação metodológica sobre as análises físico-químicas dos solos e das águas será ampliada nos numerais seguintes.

No campo foram feitos os ajustes correspondentes, considerando o grau de dificuldade no deslocamento no terreno, cuidando sempre de manter a disposição radial da amostragem. O trabalho sempre se iniciava a partir de um ponto logisticamente acessível, antecedido por um trabalho de gabinete em que foram localizadas as coordenadas aproximadas dos pontos com base nas mudanças da vegetação, tal como já foi descrito.

Para procurar as coordenadas pré-estabelecidas, foi utilizado um GPS de média/alta gama, que não perdesse o sinal dentro do mato ou com céu nublado ou sob chuva, e que o dado fornecido nessas condições também fosse de alta acurácia¹².

A melhor opção custo/benefício foi a utilização de um GPS marca MM6 - Mob. Map_PP / Magellan - chipset SIRF STAR III; de 2 – 5 m de acurácia em tempo real, ainda sob dossel da floresta.

Sendo que a resolução horizontal das imagens utilizadas nesta pesquisa é de 20 m, essa acurácia é mais do que suficiente, e ainda permite que em pesquisas futuras a mesma informação possa ser trabalhada em cartas de maior escala ou imagens de maior resolução horizontal.

Novamente em um trabalho de gabinete e laboratório as amostras eram analisadas para complementar a informação requerida para o desenvolvimento da pesquisa.

¹² Na literatura é frequente encontrar diferenciado o termo acurácia (anglicismo) a respeito de “precisão”. Conforme Mikhail e Ackermann (1976), acurácia é o afastamento entre o valor de referência e o valor estimado, e a precisão é a dispersão do valor estimado. Conforme Monico et al. (2009) a acurácia inclui tanto erros sistemáticos como aleatórios (tendência e sua dispersão), enquanto que a precisão inclui erros aleatórios só. Logo, para os casos em que não há tendência, a acurácia se resume à medida de precisão.

Tal método permitiu também grande capacidade de manobra para o levantamento de dados, e uma amostragem mais abrangente em termos de área amostrada, com um menor número de amostras coletadas.

Por fim, para efeitos de organização dos resultados e discussão dos mesmos, os mapas foram divididos em três setores perpendiculares à linha de costa: Planície Ocidental (W), que corresponde à metade Ocidental do Subssistema Itaguapé; Planície Central (C), que corresponde ao intersecto entre o Subssistema Itaguapé e Guaratuba, incluindo a divisória de águas dos correspondentes rios e sua área de influência (metade Oriental do Subssistema Itaguapé e a metade Ocidental do Subssistema Guaratuba); por último, a Planície Oriental (E), que corresponde à metade Oriental do Subssistema Guaratuba.

Ainda, também foi dividido em três setores paralelos à linha de costa (figura 14). Na sequência a partir da linha de costa, tem-se a Planície Frontal por baixo da linha paralela inferior. Entre as duas linhas paralelas à linha de costa, localiza-se a Planície Intermediária, e acima da linha paralela superior se localiza a Planície Distal e por último, a Baixa Encosta da Serra do Mar.

Figura 14. Setorização adotada para a planície costeira e baixa encosta do sistema Bertioga. Embora exista uma grande correspondência entre os setores e a organização espacial da planície, a divisão obedece mais a uma maneira didática de análise e apresentação da informação compilada na pesquisa sobre a área de trabalho.

4.3.3. Método adotado para a contextualização espacial dos solos.

O trabalho de campo se iniciava com a abertura de trincheiras nos solos que por suas características assim o permitissem, e tradagem nos lugares em que a implantação de trincheiras não fosse possível, como solos orgânicos ou de lençol freático aflorante ou subaflorante. Os mesmos pontos, devidamente georeferenciados, eram aproveitados para realizar as medições do lençol freático e análise química de qualidade de águas. Em total, foram tomadas.

No lugar era feita uma primeira descrição morfológica e coleta de amostras deformadas e indeformadas, incluindo a organização de uma sequência dos horizontes, em caixas devidamente etiquetadas, (figura 15 fotos a e b).

Figura 15. a) Amostragem de solos; Criação de trincheira para descrição de perfis in situ e medição do lençol freático. b) Sequência dos horizontes, organizadas em caixas de plástico. Junto às caixas era adicionada a informação essencial sobre cada perfil, como localização, profundidade de cada perfil e, no libretto de campo as características morfológicas do solo que não puderem ser visualizados na amostra. No círculo amarelo: cilindro para coleta de amostras indeformadas. Foto: J. Badel (2009).

Foram utilizados dados de perfis de solos descritos durante a fase de campo dessa pesquisa, além dos apresentados por Moreira (2007), os quais também contavam com georeferenciação.

O procedimento empregado é basicamente empírico e está inspirado na proposta da análise estrutural da cobertura pedológica (BOULET, 1988), que propõe a observação dos perfis de solo ao longo de uma topossequência (figura 16).

Figura 16. Método de implantação de trincheiras em um estudo de topossequência. Fonte: Boulet (1988, *apud* de ÁVILA, 2009).

A aplicação do método para o levantamento de dados pedológicos com base nessa técnica limitou-se à procura dos pontos de diferenciação de solos no trajeto escolhido. Por causa da dificuldade do terreno e a presença constante de lençóis aflorantes ou subaflorantes que não permitiam a implantação de trincheiras, elas eram substituídas pela tradagem, com uma inevitável perda de informação.

O método de amostragem radial adotado, tal e como a análise estrutural da cobertura pedológica, confere uma distribuição espacial dos tipos de solo conforme ao arranjo espacial do relevo em uma vertente. Contudo, a aplicação da análise estrutural da cobertura pedológica em áreas onde a forma do terreno da vertente não é bem definida por ser quase plana (como é o caso das planícies costeiras), sua capacidade de conferir uma dimensionalidade espacial à cobertura pedológica não é muito clara. Esse problema foi superado com a já descrita amostragem radial do terreno (vide figura 13).

O método radial pode-se descrever da seguinte maneira: A partir de um ponto onde era possível implantar uma trincheira, os pontos de controle eram localizados, além da ajuda do GPS, conforme as mudanças percebidas nos solos e na vegetação que não foram observadas no trabalho de gabinete.

A configuração radial da amostragem seguia uma orientação, hora dos depósitos sedimentares localizados na área litorânea propriamente dita, hora seguindo perpendicularmente a orientação dos eixos principais da rede de drenagem nos depósitos do interior da planície, segurando dessa maneira um rumo que vai de maior a menor declividade do terreno.

Para estabelecer os limites das diferentes camadas ou horizontes do solo onde existia a impossibilidade prática de abrir trincheiras, optou-se pela utilização cuidadosa de um trado especial para terrenos turfosos, com a profundidade previamente marcada ao longo da barra de extensão do mesmo.

Com esse procedimento não é possível conservar algumas características morfológicas do horizonte, em especial sua estrutura, mas mesmo assim foi uma excelente alternativa para resgatar informação referente a outras características que permitiram inferir o tipo de solo amostrado, além da espessura aproximada da camada ou horizonte, também a cerosidade, consistência, coesão, cimentação, presença de nódulos e concreções minerais, carbonatos, etc.

A análise da informação obtida por meio de técnicas geostatísticas, como método de aprimoramento da análise da cobertura pedológica, permitiu a obtenção de um mapa probabilístico da extensão, limites, e relações espaciais entre os diferentes solos georeferenciados.

Para as correlações foram transformados os dados qualitativos (tipo de solo e sua localização georeferenciada) em dados quantitativos, conferindo um valor entre 0,0 e 1,0 ao mesmo, mas cuidando que correspondesse a um consecutivo em uma topossequência, que começa na área litorânea e segue para o interior da planície e até o sopé da Serra do Mar.

O valor conferido a qualquer solo obedece à seguinte função:

$$V_s = \frac{C_s}{N_s}$$

Onde:

V_s = Valor conferido ao solo; N_s = é o intervalo para qualquer solo observado ($1 / N_0$ solos); C_s = Número consecutivo conferido ao solo (1, 2, 3... n), e está relacionado com a distância a que se encontra da linha de costa.

Por tanto, o valor conferido ao solo é uma medida adimensional de distância, que tem um peso que devém da sua vizinhança a respeito do solo mais próximo à linha de costa. Quanto maior o valor, mais distante ele se encontra da linha de costa.

O resultado desse procedimento foi a confecção de um mapa probabilístico da disposição espacial dos solos, que possibilita estabelecer correlações com outras variáveis espaciais, como por exemplo, a respeito da disposição espacial de unidades geológicas, cobertura vegetal, localização de áreas urbanas, etc.

Para este trabalho foi feita a superposição de capas referentes a imagens previamente refinadas correspondentes à localização dos ambientes sedimentares e ecótopos, com a finalidade de inferir relações entre os solos e esses ambientes.

Na tentativa de resolver os problemas inerentes à metodologia clássica nas amostragens de solos (certa subjetividade e o caráter discreto do mesmo), sabe-se que vários autores aplicaram ou propuseram métodos quantitativos, entre eles, técnicas geostatísticas (MENDONÇA-SANTOS & DOS SANTOS, 2003; DA COSTA & FERNANDES-FILHO, 2004, entre outros), fuzzy (CARVALHO et al, 2007, entre outros), aplicação de técnicas de regressão e componentes principais múltiplas para predição e mapeamento digital de solos (CATEN, 2011, entre outros), e aplicação de técnicas de redes neurais (CHAGAS, 2006, entre outros).

Para este trabalho foi proposta uma combinação da aplicação de um método modificado da análise estrutural da cobertura pedológica, e a aplicação de técnicas geostatísticas para dimensionar espacialmente os solos em planícies (de qualquer tipo), pelo que o método aqui proposto é susceptível de ser aprimorado com os avanços que na atualidade se tem no refinamento das técnicas geostatísticas para dados qualitativos.

Outro aspecto importante é que se baseia na localização georeferenciada de tipos de solos, pelo que permite sua atualização na medida em que novas classes sejam encontradas (sempre e quando cumpram o quesito do georeferenciamento), pelo que em pesquisas de longo fôlego, adquirem o caráter de mapas dinâmicos.

Por enquanto, pelo quesito do georeferenciamento, para este trabalho só foi possível considerar os solos registrados por Moreira (2007) e os registrados no campo desta pesquisa, havendo a necessidade de desconsiderar alguns solos reportados por outros autores, mas que podem ser incorporados no futuro, na medida em que se consigam suas coordenadas específicas.

4.3.4. Análise físico-química de solos.

A análise físico-química foi feita a partir da avaliação geostatística dos teores de macro e micro nutrientes da camada superficial (0-20 cm).

Foram utilizados dados químicos de fertilidade obtidos nas amostragens de solos, coletados nos mesmos pontos de controle utilizados para a análise da cobertura pedológica.

Além disso, foram utilizados os dados químicos de fertilidade apresentados por Moreira (2007).

Para este trabalho foi feita uma avaliação geostatística dos macronutrientes Primários fósforo (P) e potássio (K). Normalmente o nitrogênio (N) é avaliado de maneira implícita na análise da matéria orgânica; todavia, para o Estado de São Paulo não revelou ser um índice adequado para essa avaliação (IAC, 2012), pelo que os teores de N não foram considerados nesta pesquisa.

Enquanto aos macronutrientes secundários, foram avaliados o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e SSO^{2-}_4 . Os micronutrientes avaliados foram o boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn).

Igual ao caso da tipificação dos solos, o resultado desse procedimento foi a confecção de mapas probabilísticos da disposição espacial dos solos do ponto de vista químico, com a possibilidade de estabelecer correlações com outras variáveis espaciais.

Crítérios utilizados na interpretação da química de solos.

A continuação descrevem-se os critérios seguidos para a análise química dos solos, conforme a compilação de diversos autores feita por Badel-Mogollón (2007).

Para a avaliação dos teores dos macro e micronutrientes, exceto potássio (K), foi utilizado como critério de análise os intervalos propostos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, do Instituto agrônomo do Estado de São Paulo (IAC, 2012), além dos propostos por Camargos (2005) e Freire *et al* (2006). O critério de análise utilizado para os teores de potássio é o proposto por Siqueira *et al.* (1987), com algumas modificações (tabelas 4 e 5).

V%	m%	pH em CaCl ₂	Classificação acidez	interpretação resultados pH
4	90	3,80	extremamente alta (<4,3)	<ul style="list-style-type: none">- Deficiência de P (fósforo) e ALTA FIXAÇÃO do P aplicado, por ions Fe e Al;- Baixa CTC efetiva => alta lixiviação de cátions;- Baixa saturação por bases (V%);- Como pode ocorrer Al trocável e baixa CTC efetiva, deve-se esperar alta saturação por Al (m);- Em condições de extrema acidez, pode ocorrer limitação na decomposição da M.O.- Além do P, poderá haver deficiência de elementos Ca (cálcio), Mg (magnésio), Mo (molibdênio), B (boro), ou toxidez de Al (alumínio), Mn (manganês), Zn (zinco) e outros metais pesados
12	68	4,00		
20	49	4,20		
24		4,30		
28	32	4,40	ac. alta	
36	18	4,60		
44	7	4,80		
52	0	5,00		
56-72	0	5,10	ac. média	Precisa de calagem para seu aproveitamento agrícola
76-84	0	5,60	ac. baixa	Faixa considerada adequada para a maioria das culturas.
84-92	0	5,80		
>96	0	6,1- 6,5	Muito baixa (>6,0 <7,0)	
-	0	= 7,0	Neutro	
-	0		Alcalino	
-	0	> 7,0		
-	0	8,0 a 8,5		<ul style="list-style-type: none">- Deficiência de P devido à formação de compostos insolúveis com Ca;- Altos teores de Ca, de Mg e de K;- Deficiência de micronutrientes (todos, exceto Mo e Cl);- Alta saturação por bases (V%), com valores próximos a 90-100%;- Ausência de Al³⁺ (trocável);- Alta CTC efetiva (exceto em solos arenosos);- Pode ser um solo salino ou sódico;
				Ocorrência de carbonato de cálcio e/ ou magnésio livres e baixas disponibilidades dos elementos P, Mn, Zn e Cu

Tabela 4- Relação aproximada entre V%, pH em CaCl₂, e m%, em amostras de terra da camada superficial (0-20 cm); classificação das leituras de pH em CaCl₂ e interpretação dos valores obtidos. Adaptado de Camargos (2005) e de SBRT (2007). Adaptado de Badel-Mogollón (2007).

Variável	Unidade	Qualificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Análise sumária						
Matéria orgânica (M.O)	g/dm ³	< 15		15 a 25	> 253	
Alumínio livre (Al ⁺³)	mmol _e /dm ³	≤ 3,0		4,0 - 10	> 10	
Complexo Troca Catiônica						
Acidez trocável (Al ⁺³)	mmol _e /dm ³	≤ 2,0	2,1-5,0	5,1-10,0	10,1-20,03	> 20,03
Soma de bases (SB)		≤ 6,0	61,0-18,0	18,1-36,0	36,1-60,0	> 60,0
Acidez potencial (H+Al)		≤ 10,0	10,1-25,0	25,1-50,0	5,01-90,03	> 90,03
CTC efetiva		≤ 8,0	8,1-23,0	23,1-46,0	46,1-80,0	> 80,0
CTC pH 7 (T)		≤ 16,0	16,1-43,0	43,1-86,0	86,1-150	>150
Saturação por Al ⁺³	(m) %	≤ 15,0	15,1-30,0	30,1-50,0	50,1-75,03	> 75,03
Saturação por bases	(V) %	≤ 20,0	20,1-40,0	40,1-60,0	60,1-80,0	> 80,0
Macronutrientes						
Fósforo disponível (P)	mg/dm ³	0 - 2	3 - 5	6 - 8	9 - 16	> 16
S SO ₄ ²⁻		0 - 4		5 - 10	> 10	
Potássio disponível (K)	mmol _e /dm ³	0,0 - 0,7	0,8 - 1,5	1,6 - 3,0	3,1 - 6,0	> 6,0
Cálcio trocável (Ca ⁺²) ²		0 - 3		4 - 7	> 7	
Magnésio trocável (Mg ⁺²)		≤ 1,5	1,6 - 4,5	4,6 - 9,0	0,91-15,0	>15,0
Micronutrientes						
Zinco disponível (Zn)	mg/dm ³	< 0,4	0,5 - 0,9	1,0 - 1,5	1,6 - 2,2	>2,2
Manganês disponível (Mn)		< 2	3 - 5	6 - 8	9 - 12	> 12
Ferro disponível (Fe)		< 8	9 - 18	19 - 30	31 - 45	> 45
Cobre disponível (Cu)		< 0,3	0,4 - 0,7	0,8 - 1,2	1,3 - 1,8	> 1,8
Boro disponível (B)		< 0,15	0,16 - 0,35	0,36 - 0,60	0,61 - 0,90	> 0,90

Tabela 5- Intervalos de referência para interpretação de fertilidade do solo, dos teores de matéria orgânica, macro e micronutrientes e para o complexo de troca catiônica. Adaptado de Siqueira *et al.* (1987), Álvares *et al.* (1999), Camargos (2005), Freire *et al.* (2002, 2006), e IAC (2012).

Leitura de pH em CaCl_2 : É um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. Essa variável tem uma relação direta com a saturação por bases no solo. Os valores de classificação são apresentados na Tabela 4. Na Tabela 5, apresentam-se os critérios de qualificação para a análise do complexo de troca catiônica.

Porcentagem de saturação por bases do complexo de troca catiónica (CTC) a pH 7,0 (V%). É a relação percentil de cargas positivas de Ca, Mg, K e, às vezes, Na, passíveis de troca a pH 7,0, em comparação com aqueles ocupados por H e Al. Esse parâmetro é utilizado para separar solos considerados férteis ($V\% > 50$) de solos de menor fertilidade ($V\% < 50$).

Relação entre pH e V%. Normalmente se espera que na camada de 0-20 cm, espera-se uma relação aritmética inversa (entre maior acidez, menor V%) entre os valores médios de V% e o pH (Tabela 4). Os desvios estatísticos significativos nesta relação podem ser atribuídos a fatores extrínsecos.

Acidez potencial ou acidez total ($H+Al$). Também chamada de “acidez nociva”, e constituída pelos íons H^+ e Al^{3+} trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos coloides minerais ou orgânicos por forças eletrostáticas (LOPES & GUILHERME, 1992).

Refere-se ao total de H^+ em ligação covalente, e Al^{3+} trocáveis a pH 7,0. Na Tabela 4 se apresenta a classificação da Acidez Potencial conforme Freire *et al* (2002).

Relação M.O. x CTC. Existe uma relação direta entre a Matéria Orgânica e a CTC a pH 7,0 (T). Espira-se que o teor de Ca seja maior que Mg, este maior que K ($Ca > Mg > K$).

Soma de bases trocáveis (SB). Elementos trocáveis do complexo de troca de cátions do solo ($Ca+Mg+K+Na$). Dá uma indicação da ocupação por bases do número de cargas negativas dos coloides.

Sua comparação com a CTC efetiva e Al trocável permite calcular a porcentagem de saturação de alumínio e a porcentagem de saturação de bases (LOPES & GUILHERME, 1992).

Em comparação com a CTC a pH 7,0, permite avaliar a porcentagem de saturação por bases desta CTC (V%).

CTC a pH 7,0 (T). É o máximo de cargas negativas liberadas a pH 7,0 passíveis de serem ocupadas por cátions (LOPES & GUILHERME, 1992).

Conforme Centurion & Andrioli (2006), consideram-se altos os valores de $CTC \geq 270$ mmol_c/kg de argila se alta, predominando minerais 2:1, valores menores se consideram baixos, com presença de óxidos de Fe e Al.

A diferença da CTC efetiva, esta CTC inclui hidrogênio (H⁺) que se encontra em ligação covalente (muito forte) com o oxigênio nos radicais orgânicos e sesquióxidos de ferro e alumínio, pelo que essa medição é indicadora de quanto desses metais é retido no solo.

4.3.5. Método de avaliação da estabilidade da estrutura superficial do solo.

Análise granulométrica.

A análise granulométrica dos sedimentos relacionados com os solos da planície costeira foi feita com o método de difração de laser, também chamado de Difração Fraunhofer, que consiste no espalhamento de luz laser de baixo ângulo (em inglês "Low Angle Laser Light Scattering - LALLS"). Este método se baseia no fato de que o ângulo de difração é inversamente proporcional ao tamanho de partícula, e converge no mesmo ponto de localização em relação à lente (figura 17).

Figura 17. Padrões de difração das partículas com o mesmo tamanho convergem no mesmo ponto de localização em relação à lente, de acordo com a teoria Fraunhofer. Adaptado de CILAS (2011).

De acordo com Florencio & Selmo (2006), o Método LALLS utiliza como princípio, a interação de um feixe de luz com partículas em um meio fluido. Utiliza-se um feixe de luz monocromático e colimado de gás He-Ne.

Quando esse feixe atinge uma quantidade de partículas, parte desta luz é submetida a um espalhamento, parte é absorvida e parte é transmitida. Quando espalhada, a luz pode ser difratada, refratada e refletida. A intensidade da energia espalhada é transformada em distribuição volumétrica das partículas (figura 18), por um conjunto de lentes, detectores foto-elétricos e um microprocessador.

Figura 18. Aspecto do padrão de difração da luz a respeito do tamanho da partícula. Adaptado de CILAS (2011).

A teoria de Fraunhofer é aplicável para as partículas grandes em relação ao comprimento de onda λ (difusão e absorção não são considerados), e tem, a princípio, as seguintes suposições (CILAS, 2011):

- As partículas têm formato esférico, não poroso e opaco,
- Diâmetro $d >$ comprimento de onda,
- As partículas são suficientemente distantes umas das outras,
- Movimento aleatório,
- Todas as partículas de difração da luz com a mesma eficiência, de maneira independentemente.

A análise granulométrica por este método foi feita no laboratório de Sedimentologia do Instituto Geológico (SP).

O critério de decisão sobre as classes granulométricas foi feita com base nos resultados obtidos de Assimetria (skewness), de acordo com o proposto por Folk (1957, *apud* DIAS, 2004), apresentado na tabela 6.

A partir desse método e de acordo com as designações de Folk & Ward (1957), foram obtidas as porcentagens das classes de fração granulométrica de Argila, Silte (Muito Fino, Fino, Médio, Grosso e Muito grosso), e Areia (Muito Fina, Fina, Média, Grossa e Muito Grossa).

SKI	Designação
+1,00 a +0,30	Fortemente assimétrica no sentido dos finos
+0,30 a +0,10	Assimétrica no sentido dos finos
+0,10 a -0,10	Aproximadamente simétrica
-0,10 a -0,30	Assimétrica no sentido dos grosseiros
-0,30 a -1,00	Fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros

Tabela 6- Designações para os valores da assimetria propostos por Folk (1957).

Análise da estabilidade estrutura superficial dos solos

Após esse procedimento, foram escolhidas as frações correspondentes à camada de 0 – 20 cm para a análise da estabilidade da estrutura do solo, sendo que essa é a camada de maior exposição perante os fatores e agentes desestabilizadores externos (erosão hídrica, eólica, escoamento superficial, etc.).

De acordo com Pulido-Moncada *et al.* (2009), a estabilidade estrutural dos solos depende de vários fatores, e sua avaliação é feita por meio de diversos métodos e índices de predição.

Aqui se procurou formular um modelo que explique a estabilidade da estrutura dos solos a partir do Índice de Suscetibilidade à Separação (ISP), proposto por Florentino (1998, *apud* PULIDO-MONCADA *et al.*, 2009), para solos predominantemente minerais, os quais refletem a tendência à separação de suas partículas, e como consequência disto, a tendência à formação de selo ou crosta superficial quando o solo é umedecido pela chuva. Sua expressão é:

$$ISP = \frac{\%A}{\%S + \%af + \%amf}$$

Onde: A = % de argila (< 2µm); S = % de Silte (2 - 50µm); af = % de Areia fina (100 – 250µm); amf = % de Areia muito fina (50 – 100µm).

Contudo, a aplicação desse índice assume que a estrutura superficial do solo é homogênea, ou, em outras palavras, assume que para um atributo dado, a variância é a mesma em qualquer ponto e direção, o que *pode* ser provável em áreas de uso agropecuário, mas não necessariamente é assim no caso de solos que conservam sua cobertura vegetal natural.

Dito de outra forma, o índice não leva em conta a probabilidade da existência de anisotropia na distribuição espacial da variável estudada, pelo que é proposto o IDE como

medida de correção do ISP, obtido na análise geostatística prévia. Por tanto, é proposta a expressão:

$$ISP_i = \frac{\%A_i * IDE}{[\sum \%Silte)* IDE] + [\sum \%Areias)* IDE]}$$

Onde:

ISP_i = *Tendência à Separação de Partículas na floresta “i”*.

Provas matemáticas realizadas com diferentes classes de textura indicam que a estabilidade ideal da estrutura superficial arrojará um valor de 0,5; valores maiores a 0,5 indicam um predomínio das argilas. A estabilidade da estrutura superficial começa a estar comprometida por baixo de 0,22, e podem considerar-se solos instáveis por baixo de 0,16, inclusive. Por tanto, a escala que aqui é proposta é a seguinte:

- Valores entre 0,00 até 0,16 = Solos com Estrutura superficial totalmente instável;
- valores entre 0,16 (inclusive) até 0,22 (inclusive) = Estrutura superficial moderadamente estável;
- valores maiores a 0,22 = solos com Estrutura superficial estável.

Posteriormente foi feito o tratamento geostatístico na classe enunciada (0 – 20 cm), que teve como objetivo a detecção e reconhecimento e modelagem de padrões espaciais da distribuição atual dos sedimentos.

O modelo estatístico usado foi a krigagem, método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas, onde cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico baseado no variograma (LANDIM, 1998).

Foi utilizada a validação cruzada como critério de ajuste do variograma experimental a um modelo variográfico teórico.

4.3.6. Método de levantamento de informação hídrica e hidrológica.

Os mesmos pontos de amostragem de solos foram aproveitados para realizar medições do lençol freático e análise química de qualidade de águas. O levantamento de dados sobre o NA foi realizado no marco de outra pesquisa conexa com o presente trabalho (PEREIRA, 2011).

Para a análise do NA e das variáveis químicas foram instaladas estações de pesquisa equipadas com piezômetros em pelo menos cada tipo de unidade quaternária (UQ), georreferenciadas espacialmente (latitude e longitude) por meio de aparelho *GPS*.

Os piezômetros foram confeccionados com tubos de PVC cujas dimensões eram variadas em função do tipo de UQ. Uma vez que o NA pode variar de aflorante a $> 3,0$ m de profundidade entre as UQs, os tubos de PVC terão aproximadamente as seguintes dimensões com base nas constatações de Moreira (2007):

100 mm x 0,50 m nas UQ com NA aflorante a quase aflorante;

100 mm x 1,70 m nas UQ com NA até $>1,20$ m de profundidade;

100 mm x 2,50 m nas UQ com NA até $>2,0$ m de profundidade;

100 mm x 3,50 m nas UQ com NA até $>3,0$ m de profundidade.

As estações de pesquisa foram instaladas em locais de acesso relativamente fácil e distante dos canais de drenagem (figura 19 - a). Nas estações de pesquisa além de serem monitorados os NA das UQ através dos piezômetros (figura 19 - b), também foram coletadas amostras para a caracterização dos parâmetros físicos do solo/sedimento, tais como granulometria, porosidade, permeabilidade, grau de compactação, sendo estes analisados no laboratório de sedimentologia do IG-SMA (métodos descritos em SUGUIO, 1973).

Figura 19. a) Detalhe do processo de instalação dos piezômetros; b) Medição dos parâmetros físico-químicos das águas subsuperficiais. Fotos: a) J. Badel (2009); b) F. Sobrinho (2009).

O critério de decisão sobre as características do NA foi feita em consideração à contribuição à vulnerabilidade Ecológica do sistema, considerando uma profundidade do NA menor a 0,60 m como contribuinte a uma Alta vulnerabilidade do sistema. Profundidades entre 0,60 m e 1,50 foram consideradas como de contribuição Média, e profundidades maiores, até 5,0 m se consideraram como contribuintes a uma Baixa vulnerabilidade.

Esse critério de decisão se baseia no suposto de que raízes de arquitetura pivotante oferecem maior estabilidade vertical à vegetação lenhosa, enquanto que uma arquitetura fasciculada em este tipo de vegetação diminui essa estabilidade, conforme as características do substrato da área de estudo e a incidência de ventos moderados a fortes que se observam com frequência na região. Essa menor estabilidade na vegetação lenhosa com raízes mais superficiais foi inferida pela maior frequência de observações de árvores caídas com essas características.

As medições das variáveis químicas consideradas foram feitas com um instrumento portátil marca Hanna®, série HI 929828 (figura 19 - b), que é um medidor multiparâmetro que monitoriza até 13 parâmetros de qualidade da água diferentes (oito medidos, cinco calculados). As especificações técnicas do multiparâmetro são apresentadas no anexo 1.

Para o mapeamento das variáveis físico-químicas e do NA foi aplicado o mesmo método seguido na análise de solos, sendo que para o último foi possível elaborar mapas probabilísticos que modelam o lençol mês a mês, o que facilitou o monitoramento desta variável em relação ao pulso hidrossedimentológico do sistema, pelo menos durante 18 meses.

4.3.7. Método para a análise da pluviosidade e Balanço Hídrico (BHC).

Na tentativa principal de conhecer o *pulso hidrossedimentológico atual* da planície de Bertiooga, optou-se pela utilização dos dados de pluviosidade do sensor TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), que permitem analisar a série histórica entre os anos 2000 e 2011 (12 anos aproximadamente). Tal série foi considerada como adequada para o objetivo da presente pesquisa.

Foram contrastados os resultados dos testes estatísticos dos valores fornecidos por esse sensor com os obtidos por Pereira (2011) e DAEE (2012), e ainda o cruzamento dessa informação com os resultados do BHC obtido por Pereira (2011), a fim de realizar os ajustes necessários para estabelecer os limites esperados que disparassem um evento de inundação ou de déficit hídrico.

Sendo que f FITRAS além de ser uma função é uma variável¹³, tanto no Rio Itaguaré quanto no Guaratuba se procurou que a localização dos pontos utilizados para o fornecimento de dados do sensor TRMM fosse ao centroide das planícies de maré, cuja altitude e topografia tipificariam o comportamento do pulso em uma área relativamente plana e diretamente influenciada pelos eventos de déficit hídrico e de inundação (fluvial ou causada pela maré).

Para estabelecer a classe que indicasse uma relação potamofase/limnofase em equilíbrio dinâmico, foram utilizados os dados de pluviosidade coletados por Pereira (2011, vide capítulo de resultados), e aferidos com o BHC.

4.3.8. Método para a medição da conectividade dos subssistemas.

Aproveitando a equiparabilidade entre os eventos pluviométricos e os pulsos de inundação e déficit hídrico, por meio da informação pluviométrica é possível modelar a conectividade do rio com as áreas alagáveis da bacia, conforme o Quociente de Conectividade Fluvial (QCF) proposto por Neiff & Poi de Neiff (2002). O quociente está dado por:

$$QCF = \text{No. de dias em potamofase} / \text{No. De dias em limnofase}$$

Em um caso hipotético onde os dias de potamofase fossem iguais aos dias em limnofase (as suas fases em um equilíbrio ideal, com um desvio padrão = a zero), em um ano com 365 dias, temos:

$$QCF = (365/2)/(365/2) = 182.5/182.5 = 1$$

Um valor de QCF acima de 1 começa a haver o domínio da potamofase, e abaixo de 1, a limnofase.

Esse elemento de análise (o QCF), está relacionado com a distribuição da vegetação e o modelado das geoformas. Contudo, sua interpretação é difícil porque são valores não estandardizados (tipificados), metade dos valores se distribui entre 0 e 1, e a outra metade entre >1 e α (teoricamente α pode ser um número infinitesimal).

A tipificação dos valores permitiria uma comparação estatística não só entre diferentes eventos e diferentes rios, mas também a respeito do ponto de equilíbrio dinâmico.

Em outras palavras, aqui se propõe usar não a relação potamofase/limnofase, e sim uma relação potamofase (ou limnofase) a respeito do ano calendário (ou ano safra, dependendo a escolha das características da estacionalidade do pulso).

¹³ Isso significa que os valores dependem do lugar de medição, permitindo comparações entre diferentes trechos de um rio ou diferentes rios.

Para esse efeito, tomando-se um ano (365 dias) como unidade de medida e a amplitude média do pulso, propõe-se uma normalização linear dos valores de acordo com a seguinte fórmula:

$$\left(z_i^k\right)_N = \frac{z_i^k}{z_{max}^k}$$

Onde $\left(z_i^k\right)_N$ é o QCF transformado (QCF_t) para um atributo k , onde a alternativa i tem o valor z_i^k .

O intervalo dessa transformação é: Máximo = 1 ; Mínimo = z_{min}^k / z_{max}^k

QCF_t = da amplitude / 365

A informação sobre média da amplitude é fornecida pela aplicação do programa Pulso©, enquanto que aplicação do teste Qui-Quadrado fornece a informação sobre a significância do QCF_t.

Essa normalização transforma os valores originais em novos valores entre 0 e 1, sendo 0,5 o ponto de equilíbrio dinâmico entre potamofase e limnofase (com a mesma amplitude durante um ano). Valores por baixo de 0,5 indicam prevalência de limnofase.

Conforme Casco *et al.* (2005a), a interpretação do QCF é relativo às comparações que possam ser feitas com o valores da população (classes bioformas, densidade, biomassa e tamanho). No nosso caso, a transformação dos valores de QCF possibilitaria a comparação com o QCF do subssistema Itaguapé.

4.3.9. Método para a medição da elasticidade do sistema

Atualmente os avanços nas geotecnologias e a disposição do material (processado ou semiprocessado) a baixo custo ou de maneira gratuita, facilitam muito essa medição. Com exemplo, imagens de satellite diacrônicas são disponíveis para realizar esse tipo de quantificação.

Nesse sentido, para este trabalho foram procuradas imagens de satélite que coincidisse com os eventos extremos requeridos (inundação extrema e seca extrema).

Para este caso, obtiveram-se imagens CCD do CBERS-2 (INPE, 2012), de finais de dezembro de 2009 (CBERS 2B CCD2PAN **20091227** 153 127 L2 BAND5), que coincidiu com o período de déficit hídrico extrema no período compreendido entre 2000 e 2011.

Para o período de maior pluviosidade mensal acumulada nesse mesmo período foram utilizadas imagens do sensor IRS-p6 do satélite IRS P6 / Resourcesat-1 (também disponibilizadas pelo INPE, 2012), como alternativa para aquisição de imagens recentes (com o término das missões dos satélites de observação CBERS e LANDSAT). Imagens de julho de 2010 (P6 LIS3 **20100712** 332 095 L2 BAND5), coincidiram com o período de maior seca no lapso estudado.

As medições foram feitas descartando as áreas que por alguma circunstância tirassem nitidez da informação requerida (sombras, nebulosidade, etc.), pelo que houve que desconsiderar a área inundável ao NE do condomínio Morada da Praia. As áreas urbanizadas também foram descartadas das imagens.

Existem diferenças na resolução espacial entre as imagens CCD do CBERS e do sensor IRS-p6, sendo de 20 m na primeira e de 24 m para a segunda. Somado a isso, a qualidade das imagens e outros fatores técnicos também não permitiram criar uma máscara única para ambas as imagens. Devido a isso, optou-se por comparar não os valores absolutos das áreas calculadas, e sim os valores relativos das áreas úmidas de cada fase, a respeito do tal da área considerada, tal que:

$$\text{Área relativa de inundação extrema} = \frac{\text{Área inundada em potamofase extrema}}{\text{Área total considerada}}$$

$$\text{Área relativa de déficit hídrico extremo} = \frac{\text{Área inundada em limnofase extrema}}{\text{Área total considerada}}$$

$$\text{Elasticidade relativa} = \frac{\text{Área relativa de inundação extrema}}{\text{Área relativa de déficit hídrico extremo}}$$

Para a determinação das áreas úmidas foi efetivada uma classificação supervisionada em cada imagem para determinar o tamanho das áreas úmidas, após qual foi aplicado o quociente de elasticidade tal como descrito por Neiff (1999).

4.3.10. Método de análise das variáveis químicas relacionadas com as águas

As variáveis consideradas neste trabalho foram: Temperatura (°C), pH, Potencial de óxido - redução (ORP), OD%, condutividade (µS/cm), resistividade (kOhm·cm), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT ppm) e Salinidade (PSU). No Anexo 2 se apresenta uma síntese das definições das variáveis conforme diversos autores.

Na figura 20 se apresentam os pontos de amostragem tanto para a medição do lençol freático (pontos vermelhos), como para as variáveis físico-químicas das águas sub-superficiais, incluindo os pontos utilizados como referência nos sistemas estuarinos (pontos amarelos).

Para as águas superficiais foi realizada uma campanha de coleta de dados contínuos (um dado cada segundo) à montante da calha dos rios, a uma profundidade 0-50 cm, a partir da desembocadura, utilizando um barco que navegava a velocidade aproximadamente constante, de tal forma que depois pudesse ser medida a distância recorrida.

Figura 20. Pontos de amostragem para a medição do lençol freático e as variáveis físico-químicas nos subssistemas Guaratuba e Itaipu. Em amarelo, os pontos de amostragem nos sistemas estuarinos. Fonte: Dados de campo utilizando como base Imagem de satélite Google Earth (2012), serviço de mapas.

Na tabela 7 se sintetiza a informação considerada no procedimento, a partir da qual foi realizada a análise respectiva dos dados de cada rio. A informação assim coletada foi posteriormente traduzida em termos de distância mediante operações matemáticas simples.

Resultado	Rio	
	Guaratuba	Itaguapé
Data	27/8/2009	27/8/2009
Hora início	07:56	12:23
Hora finalização	08:53	13:20
No. Amostras	2988	3410
Trajetos total (m)	4500	3200
Tempo total amostragem (min)	49.80	56.83
Vel. média do barco (m/s)	1,51	0,94
Distância média entre amostras (m)	1,51	0,94
Maré	Quadratura	
Altura da maré (m) - início amostragem	0,78	0,70
Altura da maré (m) - final amostragem	0,75	0,72
Estado da maré	Vazante	Enchente
Condições meteorológicas antes	Sem chuva	

Tabela 7- Informação relativa ao processo de coleta dos dados físico-químicos da água, rios Guaratuba e Itaguapé. A informação das alturas das marés é calculada com base aos dados do porto mais próximo aos rios (São Sebastião), disponibilizadas pela CPTEC (INPE, 2012). A distância entre as amostras foi calculada com base na correlação distância total/tempo total do percurso.

Valores de referência

Temperatura (°C) e oxigênio dissolvido (OD). Tem efeito sobre as propriedades físico-químicas d'água e normalmente no meio natural atua em conjunto com outras variáveis. Na tabela 8 se apresentam os intervalos considerados, em relação ao oxigênio Dissolvido (OD) e em função da salinidade.

Teoricamente, nos sistemas estuarinos os valores de OD são influenciados pelos ciclos de marés e taxas de fotossíntese e/ou respiração, ocorrendo os valores máximos nas áreas de maior influência salina (MACÊDO *et al.* 2000, *apud* PAIVA *et al.* 2008).

A maioria das águas subterrâneas tem uma concentração de OD entre 0,0 e 5,0 ppm, e frequentemente essas concentrações se encontram ao redor de 2,0 ppm (SANSORES *et al.*, 2000).

Temperatura (°C)	Salinidade (PSU)				
	0	10	20	30	40
0	14,6	13,64	12,74	11,58	11,11
2	13,81	12,91	12,07	11,29	10,55
4	13,09	12,25	11,47	10,73	10,04
6	12,44	11,05	10,91	10,22	9,57
8	11,83	11,09	10,40	9,75	9,14
10	11,28	10,58	9,93	9,32	8,75
12	10,77	10,11	9,50	8,92	8,38
14	10,29	9,68	9,10	8,55	8,04
16	9,86	9,28	8,73	8,21	7,73
18	9,45	8,90	8,38	7,90	7,44
20	9,08	8,56	8,06	7,60	7,17
22	8,73	8,23	7,77	7,33	6,91
24	8,40	7,93	7,49	7,07	6,68
26	8,09	7,65	7,23	6,83	6,46
28	7,81	7,38	6,98	6,61	6,25
30	7,54	7,14	6,75	6,39	6,05
32	7,29	6,90	6,54	6,19	5,87
34	7,05	6,68	6,33	6,01	5,69
36	6,82	6,47	6,14	5,83	5,53
38	6,61	6,28	5,96	5,66	5,37
40	6,41	6,09	5,79	5,50	5,22

Tabela 8- Intervalos de temperatura para os valores esperados de saturação de OD em função da salinidade. Valores correspondem à pressão atmosférica média ao nível do mar. Fonte: Adaptado de Agudo (1992) e Kubitza (1998).

Potencial hidrogeniônico (pH). A respeito do pH, de acordo com o art. 26 das normas CONAMA, águas salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário), com pH menor que 5 ou maior que 8,5 consideram-se como não aptas para esse destino.

Tal como acontece com o OD, nos sistemas estuarinos os valores de pH são influenciados pelos ciclos de marés e taxas de fotossíntese e/ou respiração, ocorrendo os valores máximos do pH nas áreas de maior influência salina (MACÊDO *et al.* 2000, PAIVA *et al.* 2008).

Entretanto, deve-se esperar que não ocorram amplas variações do pH, por causa da capacidade de neutralização existente no ecossistema aquático devido ao efeito *buffer* (tampão) (MACÊDO *et al.* 2000, PAIVA *et al.* 2008).

Potencial oxido-redução (redox). Entre 24°C e 28°C, o redox depende da temperatura; quanto mais alto o pH, mais baixo o redox, e vice-versa. Em águas com O₂ em equilíbrio a pH 7.0: + 0,80 mv a 25 °C; valores inferiores a + 0,3 mv indicam escassez extrema de O₂. Os intervalos de referência são:

- Zona oxidada: >200 mV (sedimento amarelo);
- Zona de descontinuidade: 0-200 mV (sed. cinza);
- Zona reduzida: < 0 mV;
- Sedimentos reduzidos: O₂, CO₂ e Nitratos são substituídos pelo sulfuro de hidrogênio, metano e amoníaco;
- Zona de descontinuidade e Reduzida: íon férrico passa a ferroso.

Salinidade. A salinidade é medida em percentagem (1% = 10 g/Kg) ou permilagem (‰). A partir do uso de técnicas eletrônicas de medição, baseadas na condutividade eletrolítica da água em comparação com um padrão, a medida adquiriu um valor adimensional, cuja escala atual de utilização é a Escala Prática de Salinidade de 1978 ou PSU (“Practical Salinity Units” ou Unidades Práticas de Salinidade).

A Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece os intervalos de salinidade para a classificação assim (em permilagem): águas doces (salinidade <0,5‰); salobras (entre 0,5 e 30‰), e salinas (>30‰). Em unidades PSU, corresponderiam a <0,05, entre 0,05 e 30, e >30 respectivamente.

A partir desses limites se pode estabelecer uma base para o entendimento do comportamento físico-químico, e, por extensão, do ecossistêmico, tanto da área diretamente influenciada pela dinâmica estuarina, quanto da planície costeira em geral.

Condutividade (K). Para a condutividade, os seguintes parâmetros servem como referência: a condutividade média da chuva é de 150 µS/cm, a média do oceano Atlântico é de 5500 µS/cm e a máxima é de 5900 µS/cm; a condutividade média dos rios é de 150 µS/cm (ALMEIDA, 2010). Intervalo aceito para a água de irrigação vai entre 0 - 3000 µS/cm.

Na figura 21 se apresenta uma tábua que serve como valores de referência para a classificação de áreas de acordo com o risco de absorção de sódio e salinidade a respeito da condutividade.

Figura 21. Tábua de classificação de amostras para nascentes e águas subterrâneas em função do risco de absorção de sódio e da condutividade elétrica (modificado de MAGALHÃES, 2006).

Resistividade. Estudos feitos em áreas contaminadas por hidrocarbonetos relacionam a redução dos valores de resistividade com a biodegradação por parte de organismos vivos, entre eles, bactérias aeróbias e anaeróbias (SAUCK *et al.*, 2000; WERKEMA *et al.*, 2003, *apud* BRAGA *et al.*, 2008; MOREIRA & BRAGA, 2009, entre outros).

Valores típicos de resistividade para as águas subterrâneas variam entre 0,01Ωm e 10 Ωm, enquanto que as águas fluviais, aquelas mais fracamente mineralizadas apresentam valores superiores a 20 Ωm (MIRANDA *et al.*, 2000).

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). O limite de SDT para águas classe 2¹⁴ é de 500 mg/L (MAGALHÃES & DOSSIN, 2006). Na tabela 9 se apresentam os intervalos para a classificação da potabilidade em razão dos SDT, segundo Souza (1995, *apud* MAGALHÃES & DOSSIN, 2006) e o valor máximo permitido pela Portaria 518/04 (CONAMA).

Cabe salientar que a intenção dessa classificação para esta pesquisa corresponde mais à necessidade de estabelecer uma referência entre os valores aceitáveis de SDT para águas de consumo humano, e os valores observados que permitem o desenvolvimento normal do ecossistema analisado, os quais podem ser completamente diferentes ou semelhantes.

¹⁴ Destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; a proteção das comunidades aquáticas; a recreação de contato primário; a atividade de pesca; a irrigação de hortaliças e plantas frutíferas que são consumidas cruas.

Potabilidade	Intervalos SDT (mg/L)
Boa	≤ 150
Razoável	$150 < \text{SDT} < 500$
Tolerável	$500 < \text{SDT} < 1000$
Inaceitável	$\text{SDT} > 1000^*$

Tabela 9- Intervalos de concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) segundo Souza (1995, *apud* MAGALHÃES & DOSSIN, 2006). * Valor Máximo Permitido pela Portaria 518/04. Fonte: modificado de Magalhães & Dossin (2006).

Em outras palavras, cabe a possibilidade de que valores de SDT inaceitáveis para o consumo humano sejam adequados para manter o vigor da vegetação do ecossistema dado, e vice-versa; ou seja, pode ser que os intervalos estabelecidos para definir a potabilidade, sejam consistentes com o esperado para o ecossistema em questão.

4.3.11. Classificação das áreas estuarinas de Guaratuba e Itaipu

Crítérios fisiográficos, geológicos e geomorfológicos.

De acordo com a classificação de Reinson (1992), as áreas estuarinas dos rios Itaipu e Guaratuba seriam do tipo dominado por ondas, de configuração morfológica parcialmente fechada, normal à linha de costa, na faixa correspondente a micromaré, com os sedimentos lamosos depositando-se no estuário central, enquanto que os sedimentos marinhos se depositam na área litorânea.

Estrutura salina. Dentro dos critérios de classificação quanto à estrutura salina, destaca-se a proposta por Pritchard (1967), apresentado na tabela 10a, o Sistema Veneza de classificação (1959) na tabela 10b.

Crítério	Tipos	Características distintivas	b) Zona	Intervalo de Salinidade (PSU)
a) Salinidade (Pritchard, 1967)	Positiva	Onde o escoamento superficial e a precipitação excedem a evaporação, sendo a salinidade inferior à da água do mar.	Hiperhalino	$> + 40$
	Inversa	Quando a evaporação excede a precipitação e o escoamento superficial de água doce, tornando-se hipersalinos.	Euhalino	$+ 40 - + 30$
	Neutros	Quando há equilíbrio entre as influências de água doce e a evaporação.	Mixohalino	$(+ 40) + 30 \pm 0,5$
			Mixoeuhalino	$> \pm 30$ porém $<$ mar adjacente euhalino
			(Mixo-) polihalino	$\pm 30 - \pm 18$
			mesohalino	$\pm 18 - + 5$
			oligohalino	$\pm 5 - \pm 0,5$
			Limnética (água doce)	$< + 0,5$

Tabela 10. (a). Critério de classificação de estuários de Prichard (1967) conforme a salinidade (tomado de Silva, 2000). (b). Critério de cassificação de estuários segundo o Sistema Veneza (1959) de Classificação de águas marinhas.

Além disso, a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), já descrita anteriormente, determina os intervalos para a classificação das águas conforme a salinidade.

Estrutura trófica dos sistemas estuarinos

Em função da salinidade, de acordo com Marques (2008), a distribuição ecológica dos organismos estuarinos é a seguinte:

- **Oligohalinos:** Constituem a maioria dos organismos presentes nos rios e águas doces;
- **Estuarinos:** Localizam-se na parte central dos estuários; são organismos com afinidade marinha e
- **Eurihalinos:** Estão presentes desde o mar até à parte central dos estuários; Constituem a maioria dos organismos presentes no estuário.
- **Stenohalinos marinhos:** Marinhos, penetram em estuários, sobretudo perto da sua embocadura; e,
- **Migradores** – na sua maioria peixes e crustáceos decápodes, que passam uma parte da sua vida nos estuários, ou utilizam-nos como vias entre os rios e o mar aberto

Em conjunto todos eles formam parte da estrutura trófica do sistema estuarino, a qual depende da energia solar e da matéria orgânica transportada para os estuários pelos rios e pelas marés. Na Figura 22 se apresenta esquematicamente essa rede.

Tal como se observa nessa figura, na dinâmica trófica nos estuários existem duas teias, uma fitófaga, tendo como base o fitoplâncton; e outra detritívora, obviamente com base nos detritos (DAY *et al.*, 1989, apud PAIVA *et al.*, 2008).

Normalmente é aceito que o número de espécies presentes nos estuários é, por regra geral, menor que o número de espécies presentes nos sistemas de água doce ou no mar, sob o argumento de que o número de espécies oligohalinas, é elevado em água doce, e declina do topo para o interior do estuário, o mesmo sucedendo em relação às espécies stenohalinas marinhas e eurihalinas, neste caso a partir da desembocadura (BLABER 2000; MARQUES, 2008).

Todavia, observando a totalidade do sistema, é possível que o sistema estuarino ultrapasse a riqueza de espécies dos sistemas de água doce ou marinhos adjacentes, já que

justamente recebe organismos flúvio-oportunistas e marinho-oportunistas desses sistemas adjacentes.

Figura 22. Rede trófica típica dos sistemas estuarinos. Fonte: tomado de Marques (2008).

Além disso, o número de espécies estuarinas, reduzido nos extremos dos estuários, aumenta para o seu interior, com um máximo em regiões com salinidades entre 5‰ e 18‰ (MARQUES, 2008).

4.3.12. Levantamento de informação sobre vegetação e paisagem.

Proposta de classificação de grupos funcionais de vegetação com base no NDVI relativo.

Foi arranjada de imagens de satélite, com as quais foi possível determinar e propor uma classificação da densidade relativa da cobertura vegetal para a região de estudo, a partir da valoração do NDVI relativo.

O NDVI é o índice de vegetação da razão simples Simple Ratio (SR), normalizado para o intervalo -1 a +1 por Rouse *et al.* (1973), e é normalmente usado como ferramenta para o monitoramento da cobertura vegetal, possibilitando a criação de perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação e ainda comparações inter-anuais desses perfis (Ponzoni & Shimabukuro, 2007; Lurenço & Landim, 2007).

O NDVI é definido por:

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v)$$

Onde: ρ_{ivp} é a reflectância no infravermelho próximo;

ρ_v é a reflectância no vermelho

De acordo com Ponzoni & Shimabukuro (2007), entre outros, os níveis de cinza de uma imagem NDVI encontram-se escalonados entre 0-255 (8 bits), tons relacionados a valores de NDVI que variam entre -1 e +1. Os tons mais claros relacionam-se com valores de NDVI mais elevados, e estes a áreas com maior vegetação fotossinteticamente ativa e vice-versa.

Isto significa que normalmente existe uma correlação positiva entre valores altos de NDVI e a densidade de vegetação com maior vigor ou porte arbóreo. Porém, cabe destacar que se espera esta correlação quando a densidade é tal que não seja capaz de promover a ocorrência de pontos de saturação em qualquer uma das bandas espectrais e ainda as sombras não ocasionarem oscilações inesperadas nos valores do Fator de Reflectância Bidirecional (FRB)¹⁵. De acordo com Ponzoni & Shimabukuro (2007), para alvos terrestres o limite inferior é aproximadamente zero (0) e o superior 0,80.

¹⁵ Reflectância de uma superfície de destino para a reflexão que seria observada a partir de uma superfície lambertiana (sua radiância independe do ângulo de visada do sistema sensor) localizado no destino.

Aproveitando essas características, este trabalho procurou propor uma classificação de grupos funcionais possíveis de serem relacionados com o NDVI relativo, tal como os tipos de densidade e porte do dossel, de acordo com quantis de assinatura espectral relativa que representem esses tipos.

A proposta de classificação preliminar dos grupos funcionais sustentou-se igualmente em comparações com fotografias aéreas e observações de campo. Para a análise, foram excluídas as áreas antropizadas.

Para a valoração do NDVI relativo, foram escolhidas cenas do satélite CBERs_2¹⁶, bandas CCD_3 (0,63 – 0,69 μm) e CCD_4 (0,77 – 0,89 μm). ano 2006, pertencentes à mesma estação do ano (inverno), onde foram encontradas as cenas com uma relativa menor influência dos efeitos da atmosfera (Bertioxa é uma região que permanece com alta nebulosidade a maior parte do ano, a qual diminui ostensivelmente no inverno).

Abordagens sazonais ou temporais seria o passo seguinte em outros trabalhos, a fim de validar os resultados obtidos aqui.

O algoritmo seguido na classificação regional partiu do processamento da imagem usando a ferramenta de transformação “VegIndex – NDVI”, do software Idrisi®, versão 15 (Andes). O passo seguinte foi o reconhecimento da assinatura espectral das classes de densidade da vegetação a serem mapeadas, mediante o realce visual dos níveis de cinza da exposição automatizada de quantis de NDVI, e uma modelação fuzzy desses quantis.

A partir daí, foi feita uma reclassificação dos quantis de acordo com as classes de densidade de cobertura vegetal que representam, com a ajuda de fotografias aéreas (escala 1:35.000), anotações de campo do primeiro autor deste texto, e comparações com os tipos de vegetação. Finalmente, foi medida a área total e relativa ocupada por cada classe de cobertura vegetal.

Entretanto, O método de campo utilizado por Sobrinho (2012) foi o levantamento de dados por parcelas (BRAUN-BLANQUET, 1979), e posterior descrição das características florísticas e fitossociológicas da vegetação arbórea conforme aos sub-biomas, adotando para tal a terminologia das fitofisionomias arbóreas de restinga descritas na Resolução CONAMA nº 07/1996.

¹⁶ Resolução: 20 m; órbita/ponto: 153/127; Altitude de Órbita: 778 km Inclinação: 98.504.º Período:100,26 min.; campo de Visada: 8,3º; capacidade de apontamento do espelho: $\pm 32^\circ$.

A informação assim processada foi abordada como um componente ambiental na avaliação do risco ecológico do território e o posterior estabelecimento dos objetivos ambientais zonificados.

4.3.13. Método adotado para a contextualização espacial da vegetação.

Algoritmo. A abordagem seguida neste trabalho foi a classificação regional das classes de cobertura vegetal de acordo com os geótipos, a partir de cenas do satélite CBERs_2¹⁷, bandas CCD_3-20060823L2 (0,63 – 0,69 μm) e CCD_4_20060823L2 (0,77 – 0,89 μm).

Na tabela 11 se apresentam as classes de cobertura vegetal com os correspondentes valores de NDVI, produto da reclassificação dos quantis de NDVI, determinando-se tais classes de cobertura vegetal de acordo com a descrição funcional: por seu hábito (se for arbóreo ou arbustivo), e área foliar (se for de dossel de porte baixo, médio, alto ou emergente).

Quantil NDVI	Classe	Descrição
0,29 > 0,41	1	Correspondente a solo nú até vegetação muito pouco densa
0,41 > 0,52	2	Vegetação arbustiva densa e arbórea de dossel de porte baixo
0,52 > 0,57	3	Transição Vegetação arbórea de densidade/dossel de porte baixo-médio
0,57 - 0,60	4	Vegetação arbórea de dossel de porte médio
0,60 > 0,61	5	Transição Vegetação arbórea de dossel de porte médio a médio-alto
0,61 > 0,63	6	Vegetação arbórea densa de dossel de porte médio-alto
0,63 > 0,65	7	Vegetação arbórea densa de dossel de porte alto
0,65 – 0,74	8	Vegetação arbórea densa de dossel de porte emergente

Tabela 11- Classificação funcional de tipos de cobertura vegetal para Bertioiga de acordo com os quantis de NDVI observados.

Tal agrupamento foi validado com os resultados obtidos de maneira independente por Sobrinho (2012), a respeito da estrutura vertical dos sub-biomas da mesma localidade, observando-se coerentes ambos os resultados.

Aproveitando a consistência dos quantis de NDVI com a densidade e porte do dossel da vegetação, foi feito o agrupamento das geoformas e tecnogeoformas de acordo com as

¹⁷ Características do CBERs_2: Resolução: 20 m; órbita/ponto: 153/127; Altitude de Órbita: 778 km Inclinação: 98.504.º Período:100,26 min.; campo de Visada: 8,3º; capacidade de apontamento do espelho: $\pm 32^\circ$.

diferenças e similaridades entre elas, em função da relação percentil das classes de NDVI em cada geotipo.

A clusterização foi feita usando o método da Ligação Completa, também denominado de método do Elemento Mais Distante, sendo uma das técnicas de hierarquização aglomerativa de maior aplicação na análise de agrupamento (GAMA, 1980).

Neste método não é exigida a fixação *a priori* do número de agrupamentos, caráter favorável para esta análise exploratória, porque permite tirar valorações subjetivas desnecessárias. A função de agrupamento escolhida para esta análise exploratória foi 1-Pearson ρ (quando calculado em uma amostra, é designado pela letra "r").

O coeficiente de correlação de Pearson se calcula segundo a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}}$$

Onde:

$x_1, x_2, \dots, x_n$ e $y_1, y_2, \dots, y_n$ = valores medidos de ambas as variáveis.

$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$ e $\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ = médias aritméticas de ambas as variáveis.

Neste coeficiente a análise correlacional indica a relação entre 2 variáveis lineares com valores entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação (SHIMAKURA, 2006).

4.3.14. Método adotado para a avaliação ambiental do território

A pesquisa segue, entre outras, uma adaptação do método difundido na América Latina por FARIA (1996) e SALAS (2002) para o planejamento ecológico, que não é outra coisa que o mapeamento de diferentes níveis de problemas ambientais e suas possíveis soluções, medidos em termos de *Risco Ecológico (RE)* que ocorre em uma área dada.

Esta abordagem metodológica, além do avigoreamento da disponibilidade dos recursos ao longo do tempo, facilita a adoção de medidas de proteção de espécies vegetais e animais e de estruturas de alta importância como habitat e refúgio de espécies ecológica ou culturalmente valiosas, considerando o valor da variedade, o caráter e a beleza cênica da

paisagem, incluindo usos como lazer e proteção patrimonial e cultural de uma sociedade (BMU, 1994; FARIA, 1996; SALAS, 2000).

Hidrologia e clima.

O trabalho foi focalizado na modelação do pulso hidrossedimentológico (PHS) do sistema e as consequências ecossistêmicas dessa dinâmica hidrológica.

Para tal, foram utilizados os dados climáticos e hidrológicos que aportassem informação sobre o PHS e os processos ecológicos (por sua função bioclimática), do sistema, segundo o esquema da tabela 12.

Normalmente o PHS se realiza modelando dados hidrométricos. Todavia, esses dados não se encontraram disponíveis para os rios avaliados. Uma alternativa que se encontrou viável foi utilizar os dados pluviométricos de maneira análoga aos hidrométricos, sempre e quando eles refletissem verdadeiramente o PHS.

Fator	Atributo
Macroclima	Precipitação (média histórica, mensal), eventos críticos, balanço hídrico...
ventos	Média histórica (velocidade, rumo, distribuição mensal), eventos críticos
Mesoclima	Umidade do ar Geração e circulação Encerramento/encaixamento de massas de ar Estruturas que influenciam positivamente o clima/ar (floresta, cursos de água de maior porte)

Tabela 12- Fatores relacionados com o componente clima a serem analisados neste trabalho.

Foram procuradas as séries históricas para São Paulo, que, segundo GALINA & VERONA (2004), existem que datam do ano 1874. Essas séries foram divulgadas por Lobo (1995, *apud* GALINA & VERONA, 2004).

Em conjunto, foram pesquisados os dados da rede hidrométrica operada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica- DAEE de São Paulo, por intermédio do seu órgão, Centro Tecnológico de Hidráulica- CTH.

Também foram pesquisados os dados de Outros órgãos que também os disponibilizam dados por meio de seus sites na internet, tais como o Instituto Agrônomo (IAC, 2008), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2008), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2008), e o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET, 2008). Finalmente, foram trabalhadas as séries históricas do DAEE, que disponibilizam dados cujas

datas vão a partir de 1974. Tais dados podem ser acessados nos respectivos sites dos órgãos citados.

Os dados foram processados inicialmente com o software CLIMATICA® (DANUSO *et al.*, 2011), de licença livre e disponibilizado pela Universidade de Udine (Itália) para simulações de condições climáticas que podem ser interpretadas de acordo com os atributos expostos na tabela 12.

Dessa forma foi validada a informação que permitisse confirmar que os dados pluviométricos serviriam de maneira análoga aos dados hidrométricos para a modelação do PHS. Finalmente, com base nos dados pluviométricos, foi utilizado o software Pulso® para a modelação do PHS.

Águas Superficiais e Subsuperficiais. Foi procurada informação que permitisse inferir a dinâmica dos cursos e corpos de água e os riscos para sua permanência e impactos/riscos relevantes para seu funcionamento, de acordo com os fatores descritos na tabela 13.

A estrutura deste modelo está baseada em uma adaptação da função f FITRAS, proposto por Neiff (1999).

Fator	Atributo
Condições hidrológicas	Funcionamento da rede de drenagem (Ciclo hidrológico do sistema)
Regime	Eventos críticos, áreas naturais de retenção de água (enchentes/inundações/acúmulo de águas de chuva)
Proteção	Estado de conservação dos cursos e corpos de água (natural/alterado...)
Uso	Pontos/áreas e intensidade de uso do recurso água
Impacto/risco ecológico	Localização das atividades de impacto/risco significativo

Tabela 13- Tipos de dados para a análise do componente Águas Superficiais/ Subsuperficiais.

Os fatores apresentados na tabela 13 também foram interpretados com base na análise do balanço hídrico realizado por Pereira (2011), como parte deste mesmo projeto de pesquisa, e realizado de maneira independente para cada UQ, utilizando as características e os parâmetros do bloco. A estrutura deste modelo foi validada com a estrutura dos modelos LARSIM (BREMICKER, 1998, *Apud* ALLASIA *et al.*, 2007) e especialmente com o modelo VIC-2L (LIANG *et al.*, 1994; LOHMANN *et al.*, 1998), que representa processos hidrológicos de superfície e sub-superfície espacialmente distribuída.

Função produtiva dos Solos.

A informação referente aos solos, diferenciada de acordo com as unidades quaternárias presentes, foi utilizada para identificar na segunda etapa a Função Produtiva (capacidade natural de rendimento) relevante na área de estudo, sua função reguladora significativa de outros componentes, destaques na sua função como habitat, e impactos/riscos relevantes (poluição, erosão...). A tabela 14 mostra os fatores e atributos que foram analisados.

Fator	Atributo
Funções	Produtiva e reguladora do regime hídrico, regime de nutrientes, regime de temperatura
Características edafológicas	Perfil, textura, matéria orgânica, pH, capacidade de troca catiônica, profundidade, densidade, porosidade.
Função produtiva	Tudo o anterior + pedregosidade
Função de habitat	Tudo o anterior + umidade, vegetação
Proteção	Cobertura vegetal, áreas protegidas
Impactos/riscos ecológicos	Localização de usos e atividades de possíveis impactos/riscos significativos

Tabela 14- Inventário do componente solo para este trabalho.

A informação referente aos solos, diferenciada de acordo com as unidades quaternárias presentes, foi utilizada para identificar na segunda etapa a Função Produtiva (capacidade natural de rendimento) relevante na área de estudo, sua função reguladora significativa de outros componentes, destaques na sua função como habitat, e impactos/riscos relevantes (poluição, erosão...). A tabela 14 mostra os fatores e atributos que foram analisados.

4.3.15. Valoração dos componentes na Avaliação Ambiental do Território

A avaliação ambiental do território foi feita com base na Análise do risco Ecológico (ARE), entendido no sentido de Bachfischer (1980, *Apud* SALAS, 2002).

A ARE corresponde à medição de um Impacto Potencial, na linguagem clássica das avaliações de impacto Ambiental. Ela está estruturada conforme se apresenta na figura 23, contando com três níveis na escala ordinal. Os componentes ambientais são avaliados em níveis de *Sensibilidade Ecológica*, e os efeitos em *níveis de Intensidade Potencial dos Efeitos Ambientais*.

Os componentes considerados na presente avaliação foram:

1. Hidrologia e clima, subcomponentes
 - a. Pulso hidrossedimentológico,

- b. Variação do lençol freático (NA),
Química das águas. Atributos: °C, pH, ORP, OD, Condutividade, Resistividade e Salinidade.

Figura 23. Estrutura da ARE, conforme os postulados de Salas (2002).

2. Solos, subcomponentes:
 - a. Tipo de solo
 - b. Estabilidade da estrutura superficial do solo. Atributos granulométricos
 - c. Química de solos. Atributos: P, MO, PH, K, CA, Mg, HAL, AL, B, Fe, Mn, Zn e SO_4^{2-}
3. Vegetação.
4. Grau de Alteração da Paisagem. Atributos: Paisagem natural (Geoformas), Paisagem Antrópica (Tecnogeoformas).

Valoração da Sensibilidade Ecológica do sistema.

A Sensibilidade Ecológica é a resultante do cruzamento de informação sobre a Importância ecológica de um componente dado, e sua vulnerabilidade a uma ação determinada, de cuja integração com a Intensidade Potencial de efeitos resulta a medição do Risco Ecológico, susceptível de ser representado cartograficamente (Salas, 2002). Para esta pesquisa, tal cruzamento foi feita com base na seguinte função:

$$SE_s = \sum SE_c * [1 - DP_a]$$

onde:

- SE_s = Sensibilidade Ecológica do sistema a respeito de um componente dado.
- SE_c = Sensibilidade Ecológica do componente conforme a um atributo dado.
- DP_a = Desvio Padrão do atributo dentro do Sistema, transformado à escala [0–1], conforme o interpolador utilizado.

- n°_a = Número de atributos.

A medição de SE_c foi feita com base na seguinte função:

$$SE_c = [SE_a / n^{\circ}_a]$$

Onde:

SE_a = Contribuição do atributo à Sensibilidade Ecológica do sistema, a respeito do componente avaliado.

n°_a = Número de atributos.

Por fim, a SE_a foi feita com base na seguinte função:

$SE_a = [VUL_a - IE_a]$, onde:

VUL_a = Vulnerabilidade Ecológica de um atributo dado.

IE_a = Importância Ecológica de um atributo dado.

Critério de decisão. A decisão sobre a magnitude da sensibilidade do sistema às mudanças ambientais foi estabelecida conforme aos valores encontrados, em comunhão com os valores esperados dentro de um intervalo dado. Dessa forma, seguem os seguintes intervalos:

SE não significativa (ideal): < -0,25 até -0,20

SE Muito Baixa -0,19 até -0,13

SE Baixa: -0,12 até -0,09

SE Média - Baixa: -0,08 até -0,06

SE Média: -0,05 até 0,03

SE Média - Alta: 0,04 até 0,06

SE Alta: 0,07 até 0,10

SE Muito Alta: 0,11 até 0,14

SE Extremo: > 0,15; > 0,27: potencialmente irreversível ou sistema depauperado.

Considera-se que o sistema ou componente se encontra em equilíbrio ecológico no índice < -0,20 (ideal) até 0,03 (aceitável). Índices até 0,09 se consideram toleráveis, e acima desse valor, o sistema entra em limites intoleráveis de SE.

Valoração dos componentes ambientais.

A avaliação dos componentes foi baseada na quantificação dos atributos conforme os valores dos atributos e seus desvios padrão, transformados a uma escala adimensional de

números reais, obtida aplicando técnicas geostatísticas, a partir da análise de semivariância desses componentes, para a qual foi utilizado como interpolador o inverso da distância.

Valorados os componentes dessa maneira, ter-se-ia uma qualificação sujeita aos resultados obtidos nas medições das variáveis utilizadas, através da modelagem realizada. Tal abordagem lhe confere um caráter probabilístico a tal valoração.

Sendo que o peso do atributo é dado por sua probabilidade de ocorrência e pela variabilidade espacial dessa ocorrência, calculada a partir de eventos reais, ele está por tanto relacionado com a extensão do efeito (positivo ou negativo) desse atributo, pelo que implicitamente incluem os possíveis efeitos sinérgicos que possam acontecer na interação entre os atributos, embora esses efeitos não se conheçam ou não se avaliem especificamente.

Para efeitos de interpretação, valores acima de 0,0 indicam que na Sensibilidade Ecológica prevalecem os atributos que contribuem à Vulnerabilidade Ecológica, enquanto negativos sugerem o predomínio dos atributos que contribuem à Importância Ecológica do sistema.

Por sua vez, um valor = 0,0 indica um equilíbrio entre os efeitos dos dois tipos de atributos. Em outras palavras, quanto maior o predomínio dos efeitos dos atributos que contribuem à Vulnerabilidade do sistema, maior a sensibilidade do sistema às mudanças ambientais. A significância do valor assim obtido foi testada com uma prova de Qui-Quadrado.

Valoração da Importância Ecológica (IE) e a Vulnerabilidade dos componentes (VUL_c).

A Importância Ecológica é medida com base nos valores das variáveis (atributos) que, a critério do pesquisador¹⁸ confere um impacto positivo para o ambiente. A vulnerabilidade do componente é medida com base nos valores das variáveis que, também a critério do pesquisador, conferem um impacto negativo para esse ambiente.

Nesse contexto, todas as variáveis foram classificadas conforme os valores observados a respeito dos esperados, para definir se contribuía à Importância Ecológica ou à Vulnerabilidade do sistema.

¹⁸ Mas conforme aos pressupostos, indicações e sugestões feitas pelos diversos autores especializados em cada tema, feitos por meio de publicações, que como tal, foram aceitas pelos seus pares da comunidade científica. Nesse sentido, este trabalho cumpre com o caráter intersubjetivo da abordagem conceitual da pesquisa.

Frequentemente, a decisão sobre a contribuição de um atributo para a IE ou para VUL não é definida por um valor, e sim por um intervalo de valores. Essa situação é muito comum (mas não exclusiva), na valoração de variáveis químicas.

Por exemplo, diversos autores indicam que a diminuição do pH a valores menores a 6,5, é uma variável que contribui negativamente na valoração da fertilidade do solo; em contraste, valores de pH entre 6,5 e 8,5, consideram-se que conferem um impacto positivo à fertilidade, e por cima desses valores, novamente se tem uma contribuição negativa a respeito dessa variável.

No caso concreto, valores $6,5 < \text{pH} < 8,5$ contribuem à Vulnerabilidade do ambiente estudado, e valores no intervalo 6,5 - 8,5 contribuem à Importância Ecológica do mesmo.

Fazendo essas considerações, a IE para cada atributo foi medida com base na seguinte função:

$$IE_a = V_o / V_e,$$

onde:

V_o = Valor observado do atributo em um ponto dado (georeferenciado),

V_e = Valor esperado para esse atributo. Depende do critério utilizado (reportes da literatura, consenso entre os pesquisadores, etc).

A VUL_c foi medida com base na mesma função que a IE, mas dirigida aos atributos que contribuem à Vulnerabilidade do sistema.

Valoração da Intensidade Potencial dos Efeitos (IPE).

A valoração da IPE, assumida como uma avaliação dos efeitos antrópicos do uso do território. foi feita com base na medição do grau de artificialização dos ambientes sedimentares, através da quantificação da perda da estrutura superficial das geoformas, em relação com a extensão da ocupação urbana, que no contexto do trabalho foram consideradas como tecno-geoformas.

Para este trabalho foram usadas imagens de radar reclassificada do satélite SRTM de 2008 (corrigidas e disponibilizadas no site do INPE por VALERIANO, 2008), correspondente às UQs refinadas, e espectrais do satélite CBERs do ano 2008 (CBERS_ 2 _ CCD1XS _ 20080709_ 153 _ 127_ L2 _ BAND3), ambas disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil, na sua versão não corrigida (anexo 3, figuras 24 e 25, página 232). As imagens foram trabalhadas com o software IDRISI[®], versão 15 (Andes).

A pesquisa seguiu o seguinte roteiro:

Primeiro, foi feito um ajuste das coordenadas das imagens a serem trabalhadas, verificando-se que todas estivessem na mesma escala. Posteriormente foram identificadas as tecnogeformas, verificando que a informação provida pela imagem de radar correspondesse à área urbanizada. Essa verificação foi feita através da imagem de satélite, realizando uma sobreposição das duas imagens. Neste caso, foi usada a banda 3 da imagem de satélite (anexo 3, figura 25), posto que foi quem melhor contrastou as áreas urbanas.

Uma vez feita a sobreposição, foram digitalizadas as áreas urbanizadas que na imagem de radar reclassificada não eram evidenciadas com clareza, para assim ter uma contagem o mais exata possível das áreas intervidas.

Posteriormente, foi feita a separação das áreas urbanizadas de acordo com a UQ que afetava, para finalmente fazer a contabilização porcentual de perda de UQ.

Por último, foi feita para cada UQ e na área em geral, uma análise estatística (Qui-quadrado) para saber se as diferenças observadas eram realmente significativas a respeito das esperadas. A contagem das áreas foi feita através do comando “área” do IDRISI®, enquanto que as análises estatísticas foram feitas usando o software STATISTICA®.

Foi feita a qualificação dos ambientes sedimentares mediante a valoração qualitativa da qualidade ambiental de cada UQ, de acordo com uma adaptação do coeficiente da alteração da superfície paisagem (SP), sugerido por Conesa-Fernández-Vitora et. Al (1993):

- $SF = 100 \sum (S_i \times K_i) / S_e$, Onde:
 - S_i = Superfície da unidade paisagística i .
 - K_i = coeficiente da fragilidade da unidade paisagística i (muito baixo = 0,2; baixo = 0,4; médio = 0,6, alto = 0,8; muito alto = 0,9; extremamente alto = 1).

S_e = Superfície equivalente da fragilidade do entorno na situação *ex ante* = $\sum S_i \times K_i$

- S_i = área da superfície da unidade paisagística.

O valor do coeficiente será designado numa relação linear inversa à porcentagem de alteração da UQ. Dito em outras palavras, o coeficiente segue uma relação inversa à extensão da tecno-geoforma (TGF), assim:

- K_i muito baixo se $TGF \leq 5\%$;
- K_i baixo se $TGF > 5\% \leq 10\%$
- K_i médio se $TGF > 10\% \leq 25\%$

- K_i alto se $TGF > 25\% \leq 50\%$
- K_i muito alto se $TGF > 50\% \leq 75\%$
- K_i extremamente alto se $TGF > 75\%$

A decisão sobre o grau de alteração da paisagem é feita de acordo com a porcentagem de superfície equivalente de fragilidade esperada para diferentes graus de qualidade ambiental (QA), segundo a figura 26.

A qualificação do estado da conservação aqui proposta para as diferentes porcentagens de fragilidade são:

- $SF \leq 8\%$: “muito bom”
- $SF > 8\% \leq 16\%$: “bom”
- $SF > 16\% \leq 24\%$ “aceitável”
- $SF > 24\% \leq 32\%$ “regular”
- $SF > 32\% < 40\%$ “Ruim”

De acordo com essa função de transformação, o máximo de alteração da paisagem tolerável é de %40 de SF. Acima desse valor, considera-se que a paisagem entrou num estado de depauperação ou em condições inaceitáveis de conservação.

Figura 26. Grau de alteração da paisagem esperada de acordo com os resultados da medição da qualidade ambiental. O máximo tolerável de SF é de 40%; além dessa porcentagem, o ambiente se encontra em estado de depauperação.

4.3.16. Valoração do risco ecológico (RE).

Da integração da SE e da IPE se obtém uma qualificação do Risco Ecológico (RE), conforme os componentes valorados. Tal integração foi feita utilizando com medida do IPE o valor do coeficiente da alteração da superfície da paisagem (SF), após sua transformação a uma escala 0-1, de acordo com o coeficiente entre a SF observada e a Máxima SF permissível (35,37/40,00), sendo por tanto o valor do coeficiente SF igual a 0,884.

Lembrando que a SE está medida entre valores maiores e menores que zero (0,000), o RE de um componente dado (RE_c) é produto da função:

$$RE_c = SE * SF$$

Para os valores positivos (que reportam Sensibilidade Ecológica)

Entre tanto, para os valores menores ou iguais a zero (que reportam equilíbrio ecológico), a função é:

$$RE_c = SE * (1 - SF)$$

Conforme essa concepção de medida do Risco Ecológico, ela se constitui *de facto*, em uma forma de medida da resiliência do sistema.

Por fim, o Risco Ecológico do sistema está dado pela função:

$$RE_s = [\sum RE_c] / n, \text{ onde } n = \text{número de componentes (subcomponentes) qualificados.}$$

A interpretação dos resultados é feita aplicando sete níveis de RE (Sem Risco, Muito Baixo, Baixo, Médio, Médio-Alto, Alto, Muito Alto e Extremo). Com base nesse esquema de classificação, propõem-se os mesmos intervalos utilizados para a valoração da SE.

Os valores menores a -0,25 sugerem sistemas altamente resilientes, que conseguiram se manter, ou ainda recuperar os valores de seus componentes dentro dos intervalos esperáveis, embora se evidenciem sinais de intervenção antrópica. Essa resiliência é visível nos habitats contornados ou vizinhos das áreas urbanizadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

INVENTÁRIO TERRITORIAL

5.1.RESULTADOS

Os resultados obtidos correspondem a uma análise para uma escala 1:50.000, a mesma utilizada no tratamento da informação cartográfica e de imagens de satélite (MIRANDA, 2008a; 2008b, disponibilizadas pela EMBRAPA, 2008^a; INPE, 2009, 2010, 2011). Análises de pontos especiais foram feitos principalmente através de imagens CEBERS.

5.1.1. Refinamento espacial dos ambientes sedimentares.

Autocorrelação.

O número de células incluídas foram 487233, com variações ligeiras nas Médias e desvio padrão. Os seguintes foram os resultados de autocorrelação para cada imagem reclassificada:

ZN (altitude): Média de 4,73 e o Desvio Padrão dos valores das células igual a $3,7 \times 10^{-3}$. O *I'* Moran foi de 0,99, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 971,60 e para randomização foi de 971,59).

FT (forma do terreno): A Média foi de 4,76 e o desvio padrão de $4,3 \times 10^{-3}$. O *I'* Moran foi de 0,86, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 845,09 e para randomização foi de 845,09).

H5 (curvatura horizontal em 5 classes): A Média foi de 2,86 e o desvio padrão de $2,0 \times 10^{-3}$. O *I'* Moran foi de 0,9462, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 932,04, mesmo para randomização).

AS (declividade em 4 classes): A Média foi de 2,52 e o desvio padrão de $1,3 \times 10^{-3}$. O *I'* Moran foi de 0,96, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 944,16 e para randomização foi de 944,16).

SB (declividade em 7 classes): A Média foi de 3,45 e o desvio padrão de $2,7 \times 10^{-3}$. O *I'* Moran foi de 0,97, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da

normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 957,56 e para randomização foi de 957,55).

SC (declividade em 6 classes): A Média foi de 2,87 e o desvio padrão de $2,1 \times 10^{-3}$. O *I*'Moran foi de 0,97, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 959,80, mesma para randomização).

V5 (curvatura vertical em 5 classes): A Média foi de 2,54 e o desvio padrão de $2,2 \times 10^{-3}$. O *I*'Moran foi de 0,92, com valor esperado de não autocorrelação igual a -0,00. A variância da normalidade e da randomização assumida foi de 0,00 (z para normalidade foi de 901,21, mesma para randomização).

Correlação cruzada.

Prévio ao cruzamento de imagens foi feita a reclassificação do MDE referente à altitude (ZN), determinando-se em classes de Altitude (figura 27). Sendo inúmeras as combinações possíveis que podem ser executadas, e sendo que a ZN foi escolhida como variável de referência, as combinações estudadas foram reduzidas para sete (7).

De acordo com as hipóteses estabelecidas para a tomada de decisão X^2 , esta foi feita comparando-se os dois valores de X^2 : Se calculado $>$ ou $=$ tabelado: Rejeita-se H_0 ; se calculado $<$ tabelado: Se aceita H_0 .

Figura 27. Classes de Altitude observadas na planície costeira e baixa encosta de Bertioga. Resolução horizontal: 30m; vertical: 1m; escala compatível 1:50.000.

Do numero de combinações possíveis, apresentam-se na tabela 15 aquelas que aceitam a probabilidade de dependência espacial ($X^2 >$ tabelado) e grau de associação aceitável. O coeficiente Kappa não ofereceu diferenciação das combinações neste caso.

Variáveis	ZN	SA	SB	SC	FT	H5	V5
ZN		0,5616	0,4423	0,4469			
SA	0,5616				0,407		0,3333
SB	0,4423				0,3162		
SC	0,4469				0,326		
FT		0,407	0,3162	0,326		0,4371	0,5452
H5					0,4371		0,2905
V5		0,3333			0,5452	0,2905	

Tabela 15- Valores do coeficiente de Cramer (V) significantes para as variáveis estudadas.

Os resultados indicam que para todas as variáveis, existe uma alta correlação espacial positiva, sobretudo entre a altitude e a declividade, entretanto que não se apresenta alguma influência da primeira variável sobre as outras em questão.

Note-se que nesta planície costeira, a forma do terreno está principalmente influenciada pela curvatura vertical e em segundo ordem pela curvatura horizontal, entretanto que sua influência sobre a declividade é comparativamente mínima.

Após vários testes de sobreposições, observou-se que a melhor opção para o refinamento dos ambientes sedimentares (UQs), pela menor variância observada, é o mapa de classes de Altitude e em segundo lugar a forma do terreno.

Os resultados estatísticos de tal cruzamento foram os seguintes: $X^2 = 13,67 \times 10^5$; $df = 91$; $P\text{-Level} = 0,00$; Cramer's $V = 0,48$, indicando uma tabulação cruzada proporcional. O índice de Kappa foi de **0,35**. Na figura 28 se apresenta o mapa obtido com base em tais resultados, e na figura 29 se apresenta o resultado final do refinamento.

Figura 28. Mapa temático das UQs refinadas através da sobreposição do mapa de UQs propostos por Souza (2007), e o mapa de classes de altitude obtido com as imagens SRTM. Escala compatível 1:50.000. As setas sinalam as correspondências entre as UQs de maior dificuldade de interpretação entre os dois mapas.

Figura 29. Resultado final do refinamento das Unidades quaternárias para a área de estudo (bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba). Foi excluída a área correspondente à bacia do Rio Itapanhaú. Refinamento feito a partir das UQs propostas por Souza (2007) com a ajuda da imagem de radar SRTM (2009). Escala compatível: 1:50.000.

Tal como é apresentado nessa figura, os geótipos presentes na imagem de referência atualizada incluem 15 tipos de UQs¹⁹, a saber: planícies de maré atuais (**LOL**), porém na versão atualizada separadas topograficamente em planícies altas (**LOLa**) e baixas (**LOLb**); terraços marinhos holocênicos (**LHTa**); terraços marinhos pleistocênicos (**LPTa** e **LPTb**); depressões estuarino-paleoestuarino-lagunares holocênicas (**LCD**).

Além disso, na região se observam terraços fluviais e planícies de inundação holocênicas a atuais (**LHF**); terraços fluviais e planícies de inundação pleistocênicos (**LPF**), separados em altos (**LPFa**) e baixos (**LPFb**); ambientes de sedimentação mista com depósitos fluviais e colúvios de baixada (**LMP**); e ambientes de baixa encosta (**LCR**), igualmente separadas em altos (**LCRa**) e baixos (**LCRb**). As praias atuais (**Pr**) e cordões litorâneos holocênicos (**LHTb**).

A alta similaridade encontrada, inferida da alta correlação espacial positiva observada, indica que as classes seguem uma distribuição espacial coesa, ou seja, as classes propostas descrevem muito bem a estrutura espacial da região de estudo, isto quando analisada nas variáveis de maneira independente.

¹⁹ Conservou-se a nomenclatura utilizada por Souza (2007) na denominação das UQ, onde: a primeira letra (L = Planície Frontal) está associada ao compartimento geológico-geomorfológico regional constituído pela planície costeira e a baixa encosta; a segunda indica alguma informação geológica, como idade (H = holocênica; P = pleistocênica) ou o tipo litológico (ex: M = mistos; C = colúvios); e a terceira letra está associada a uma informação geomorfológica (ex: T = terraço; P = planície; R = rampa).

Correlação cruzada.

Os resultados do cruzamento apresentados a continuação, rejeita-se H_0 , ou seja, para as variáveis utilizadas existe uma associação significativa. Os resultados do coeficiente de Cramer (V) indicam que a altitude exerce sua maior influência sobre a declividade, enquanto que se observou que a forma do terreno influencia grandemente, tanto sobre a curvatura horizontal, quanto vertical, sendo que apresenta uma influência significativa, porém comparativamente em menor escala, sobre a declividade.

Autocorrelação.

A Curvatura Horizontal (H5) apresentou também um aceitável grau de associação com a Curvatura Vertical (V5), mas sem nenhum grau de associação aceitável com as outras variáveis, entretanto que os divisores e Talwegues (DD) não mostraram algum grau de associação significativa com nenhuma das variáveis.

5.1.2. Proposta de classificação de grupos funcionais de vegetação com base no NDVI relativo.

Os valores de NDVI encontrados para Bertioga para as cenas usadas, localizaram-se entre 0,02 e 0,73 (figura 30), lembrando que valores dentro dos limites de 0 até 0,80 indicam que não há pontos de saturação como fator limitante para a interpretação dos resultados.

Figura 30. Valores de NDVI para Bertioga usando cenas da plataforma CBERS_2, sensor CCD, referente á data de passagem 23/08/2006.

Na figura 31 se apresentam as classes possíveis de NDVI de acordo com a modelagem fuzzy, geradas de maneira automatizada pelo aplicativo usado. Note-se que esta figura apresentam valores intermediários a respeito dos valores mostrados na figura 32. Esses valores correspondem espacialmente às áreas de transição entre um tipo de cobertura e outra, pelo que podem ser obviamente relacionados com tipos de mata de transição.

Figura 31. Visualização fuzzy do NDVI da planície costeira e baixa encosta de Bertioga. Escala compatível 1:50.000.

Na figura 32 apresentam-se as classes preliminares sugeridas de NDVI, uma vez excluídas as áreas antropizadas, e feita a comparação visual entre a imagem fornecida pela modelagem fuzzy e os mapas temáticos e fotografias aéreas da região.

Figura 32. Classes de NDVI relativo propostos para a planície costeira e baixa encosta de Bertioga de acordo com a modelagem fuzzy. No mapa foram excluídas as áreas antropizadas. Escala compatível 1:50.000.

Na tabela 16 se apresentam as classes de cobertura vegetal (sintetizada) propostas para os maciços florestais consideradas neste trabalho, de acordo com o NDVI relativo. A descrição foi simplificada para tipos de densidade e porte, deixando a possibilidade de ampliar posteriormente ditas descrições na medida em que se acrescentem as variáveis de medida (geomorfologia, litologia, pedologia, hidrologia, abundância e riqueza de espécies, etc).

Quantil NDVI	Classe	Descrição
0,29 > 0,41	1	Correspondente a solo nú até vegetação muito pouco densa
0,41 > 0,56	2	Vegetação arbustiva densa e arbórea de dossel de porte baixo
0,57 - 0,60	4	Vegetação arbórea de dossel de porte médio
0,61 > 0,63	6	Vegetação arbórea densa de dossel de porte médio-alto
0,63 > 0,65	7	Vegetação arbórea densa de dossel de porte alto
0,65 – 0,74	8	Vegetação arbórea densa de dossel de porte emergente

Tabela 16- Classificação funcional sintética de tipos de cobertura vegetal para Bertioga de acordo com os quantis de NDVI observados.

Isso permitirá estabelecer diferenças e similaridades entre as classes de uma maneira quantitativa, em função dos atributos que sejam tidos em conta, e possibilitará a comparação de resultados obtidos por autores anteriores com os próprios desta pesquisa.

Na figura 33 se apresenta a área total ocupada por cada classe de cobertura e os percentis correspondentes de acordo com a área total ocupada pelos maciços florestais estudados. Note-se que há uma distribuição mais ou menos equitativa entre os tipos de cobertura vegetal, como se constata com a distribuição Qui-quadrado (tabela 17).

De acordo com o Qui-quadrado, observa-se que os percentis não apresentam diferenças significativas na distribuição das frequências. Esses resultados indicam que a maioria das coberturas vegetais está distribuída de maneira equitativa entre os diferentes grupos funcionais, sugerindo uma alta dinâmica populacional da vegetação. Informação sobre o tipo de distribuição das coberturas vegetais (agregada, aleatória ou uniforme), será abordada posteriormente em outros estudos.

Figura 33. Área ocupada por cada classe de cobertura vegetal e sua relação percentil.

Classe	ha	%	Frequencias observadas v.s. esperadas $\chi^2 = 7,66$ $df = 7$ $p < ,36$			
			% área obs	% área esp	O - E	(O-E) ² /E
1	1101,51	3,91	3,91	12,50	-8,59	5,90
2	3424,45	12,16	12,16	12,50	-0,34	0,01
3	3480,57	12,36	12,36	12,50	-0,14	0,00
4	4251,00	15,09	15,09	12,50	2,59	0,54
5	3667,31	13,02	13,02	12,50	0,52	0,02
6	3749,71	13,31	13,31	12,50	0,81	0,05
7	4058,96	14,41	14,41	12,50	1,91	0,29
8	4433,64	15,74	15,74	12,50	3,24	0,84
Total ha	28167,15	100	100,00	100,00	0,00	7,66

Tabela 17- Área ocupada pelas classes de cobertura vegetal e suas respectivas frequências.

Por fim, uma simplificação das classes é sugerida na figura 34, onde as áreas transicionais foram desconsideradas e assimiladas nas classes maiores, com a finalidade de facilitar as comparações com os resultados do inventário florístico realizado por Sobrinho (2012) na mesma área de trabalho.

Figura 34. Mapa temático das classes de NDVI e Classificação funcional de tipos de cobertura vegetal para os maciços florestais da planície costeira e baixa encosta de Bertioga, de acordo com os quantis de NDVI observados.

5.1.3. Tipificação de fitofissionomias.

Após o refinamento dos ambientes sedimentares, e com a mesma finalidade, foi feito o cruzamento com o mapa dos maciços florestais da planície costeira, propostos por Souza (2008), com a informação provida pelo processamento de dados para a classificação dos grupos funcionais, e o trabalho realizado por Sobrinho (2012) sobre a vegetação dos sub-biomas da mesma planície costeira estudada. Na figura 35 se apresenta o mapa de ecótopos, resultado obtido conforme o refinamento espacial feito sobre tais maciços.

Figura 35. Ecótipos do Sistema Bertioga, subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Refinamento feito com base nos maciços florestais da planície costeira e baixa encosta propostos por Souza (2008) e MNT fornecidos pela iniciativa Topodata (INPE, 2009). Para efeitos de análise, a planície foi dividida em setores. Oblíquo à linha de costa: Planícies Ocidental (W), Central (C) e Oriental (E). Paralelo à linha de costa: Distal (que inclui a Baixa Encosta), Intermediária e Frontal. Legenda: Mg Mangue; FPa: Floresta Paludosa; FPan: Fl. Pal. Antrópica; FbR: Floresta Baixa de Restinga; FaR: Floresta Alta de Restinga; FaRu: Floresta Alta de Restinga Úmida; FAL: Floresta Aluvial; FTr: Floresta de Transição Restinga-Encosta; LCR: Floresta Ombrófila. Outros: Pr: praia; U: áreas urbanizadas. Subfixo “cx_” indicam complexos de florestas. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

5.1.4. Aspectos climáticos relacionados com a hidrologia do sistema.

Análise da pluviosidade e outros fatores climáticos

Conforme a tabela 18 se observa que na maioria dos casos os dados de pluviosidade mostram assimetria positiva²⁰, tal como os autores Sant'Anna Neto (1995) e Nunes (1997) evidenciaram para a distribuição da precipitação no Estado de São Paulo. Tendo em vista essas características, optou-se por utilizar mediana, mínimos e máximos, ao invés da média, tal como recomendo por Blain *et al.* (2007).

Como a mediana se posiciona entre a moda e a média, Blain *et al.* (2007) sugerem que essa medida de tendência central acompanha melhor a assimetria positiva das séries de precipitação pluvial, e evita a necessidade de extrapolações da curva de densidade. Seguindo esse critério foram adotados os valores da mediana como referente para a análise do teste estatístico.

Por isto é utilizado o mesmo BHC₀ do Rio Guaratuba, para efeitos da medição do pulso. Entre tanto, os valores da mediana oscilaram entre 62.5 mm no mês de junho e 35 mm no mês de julho, com máximos de 168 e 91 mm respectivamente.

Os valores mínimos para esses meses para os anos 2009 e 2010, obtidos do sensor TRMM, eles se apresentam exageradamente atípicos a respeito da média histórica no lapso quantificado na série histórica de 1970-1994, indicando um aparente evento extremo.

Reverendo os dados de Pereira (2011) para esse mês, tudo indica que se trata de um registro anômalo do sensor (*outlier*) e não um evento extremo dentro da série temporal, pelo que essa informação foi descartada, dando preferência aos dados coletados por esse último autor. Conforme isso, foi razoável pensar que o P₃₀ para o Rio Itaguaraé se encontra entre 62.5 mm e 91 mm.

Tal raciocínio é baseado nos seguintes critérios: Considera-se que as características das duas bacias são muito semelhantes, enquanto as suas áreas, a topografia (que dificulta inclusive saber exatamente a localização da divisória entre elas), sua vizinhança, e a similaridade das suas Q_{7,10}.

²⁰ Blain *et al.* (2007), sugerem que as distribuições com assimetria positiva, evidenciam a inconsistência do uso da média aritmética mensal de precipitação pluvial em balanços hídricos utilizados para a caracterização climática de uma região. Por outro lado, valores imediatamente superiores à moda possuem maior densidade de probabilidade do que os totais imediatamente inferiores a essa. Assim, concluem que “o uso da moda em balanços hídricos destinados à caracterização climática, pode resultar em valores extremamente severos de deficiência hídrica que não representariam adequadamente a sucessão das diversas condições do tempo em localidades enquanto que a moda”.

a) Estatística descritiva Bertioga, 1970-1994 (posto E-125)														
Variable	N	Média	Mediana	Min.	Max.	Quartil inf.	Quartil sup.	σ	Desv. padrão	Erro	Assim.	Desv. Assim.	Curtose	Erro Curtose
Jan	25	269.14	261.10	58.70	459.20	199.70	364.10	13026.24	114.13	22.83	-0.04	0.46	-0.93	0.90
Fev	25	224.48	169.20	3.20	606.80	65.90	300.90	33038.00	181.76	36.35	0.74	0.46	-0.51	0.90
Mar	25	224.82	217.20	45.60	518.90	111.70	275.00	16603.50	128.85	25.77	0.65	0.46	0.03	0.90
Abr	25	226.28	196.50	35.40	532.70	121.90	277.90	20153.70	141.96	28.39	0.84	0.46	-0.25	0.90
Mai	25	163.73	124.20	30.00	378.30	74.30	244.70	10074.96	100.37	20.07	0.65	0.46	-0.75	0.90
Jun	25	103.58	102.00	5.30	207.50	80.40	146.90	2992.96	54.71	10.94	-0.11	0.46	-0.30	0.90
Jul	25	98.86	70.90	7.90	292.70	47.00	137.90	4627.75	68.03	13.61	1.07	0.46	1.21	0.90
Ago	25	77.85	64.70	2.80	208.10	51.30	105.70	2693.34	51.90	10.38	0.84	0.46	0.59	0.90
Set	25	150.67	126.30	44.50	493.90	92.30	181.50	9489.03	97.41	19.48	2.02	0.46	5.54	0.90
Out	25	157.47	145.90	29.30	353.10	114.60	205.30	5669.93	75.30	15.06	0.35	0.46	0.52	0.90
Nov	25	137.52	127.30	5.70	310.30	92.40	157.30	6699.73	81.85	16.37	0.73	0.46	-0.05	0.90
Dez	25	199.39	187.60	34.20	396.60	106.20	272.30	10097.34	100.49	20.10	0.25	0.46	-0.96	0.90

b) Estatística descritiva Itaguapé (TRMM 2000-2011)														
Variable	N	Média	Mediana	Min.	Max.	Quartil inf.	Quartil sup.	σ	Desv. padrão	Erro amostral	Assim.	Desv. Assim.	Curtose	Desv. Curtose
jan	11	178.55	167.20	101.00	358.90	118.20	195.60	6361.83	79.76	24.05	1.45	0.66	1.70	1.28
fev	11	175.90	158.50	101.00	305.60	137.30	182.50	4031.70	63.50	19.14	1.36	0.66	1.08	1.28
mar	11	88.39	82.50	19.10	191.50	37.90	117.20	3081.55	55.51	16.74	0.67	0.66	-0.28	1.28
abr	11	68.16	52.10	31.90	171.80	38.20	84.50	1928.86	43.92	13.24	1.61	0.66	2.20	1.28
mai	11	39.45	34.70	17.30	69.80	23.20	61.70	404.80	20.12	6.07	0.55	0.66	-1.36	1.28
jun	11	66.73	62.50	1.10	168.00	35.10	108.70	2244.47	47.38	14.28	0.90	0.66	0.75	1.28
jul	11	38.25	36.10	1.40	91.40	14.80	51.10	696.84	26.40	7.96	0.68	0.66	0.32	1.28
ago	11	71.79	52.10	5.40	141.90	43.60	108.60	1864.91	43.18	13.02	0.37	0.66	-0.83	1.28
set	11	104.41	94.60	53.50	164.60	79.30	136.20	1217.09	34.89	10.52	0.43	0.66	-0.82	1.28
out	11	131.09	127.30	46.60	186.20	124.50	173.20	2070.46	45.50	13.72	-0.66	0.66	0.14	1.28
nov	11	165.85	170.80	77.30	228.70	144.80	194.00	1797.90	42.40	12.78	-0.78	0.66	0.73	1.28
dez	11	239.45	216.60	114.60	422.80	146.80	297.40	10554.64	102.74	30.98	0.47	0.66	-0.99	1.28

c) Estatística descritiva Guaratuba (TRMM 2000-2011)														
Variable	N	Média	Mediana	Min.	Max.	Quartil inf.	Quartil sup.	σ	Desv. Padrão	Erro	Assim.	Desv. assim.	Curtose	Desv. Curtose
jan	10	208.16	212.70	107.20	315.70	173.90	235.10	4016.02	63.37	20.04	-0.00	0.69	-0.13	1.33
fev	10	213.69	196.70	149.70	362.10	189.00	213.00	3972.04	63.02	19.93	1.66	0.69	3.06	1.33
mar	11	99.63	71.20	27.10	181.40	55.90	158.90	3151.68	56.14	16.93	0.33	0.66	-1.67	1.28
abr	11	72.27	55.90	29.70	179.30	42.90	96.00	1799.52	42.42	12.79	1.75	0.66	3.68	1.28
mai	11	43.66	32.00	11.90	86.50	23.90	77.40	708.03	26.61	8.02	0.64	0.66	-1.31	1.28
jun	11	67.01	58.60	31.00	125.20	33.90	110.60	1293.36	35.96	10.84	0.70	0.66	-1.18	1.28
jul	11	42.30	36.20	1.20	129.60	14.70	54.50	1349.38	36.73	11.08	1.40	0.66	2.33	1.28
ago	11	73.56	72.20	16.90	148.30	43.70	98.40	1641.87	40.52	12.22	0.64	0.66	-0.24	1.28
set	11	135.23	119.50	56.50	222.40	111.50	164.40	1997.45	44.69	13.48	0.25	0.66	0.53	1.28
out	11	167.95	179.50	51.50	244.70	143.30	211.70	3635.50	60.30	18.18	-1.08	0.66	0.54	1.28
nov	11	204.79	224.90	96.30	260.10	164.20	247.30	2700.53	51.97	15.67	-0.87	0.66	0.11	1.28
dez	11	293.45	327.50	134.90	505.70	182.20	365.00	15239.10	123.45	37.22	0.20	0.66	-1.11	1.28

d) Estatística descritiva bacia Guaratuba 2009-2011 (Pereira, 2011)														
Variable	N	Média	Mediana	Min.	Max.	Quartil sup.	Quartil inf.	σ	Desv. padrão	Erro	Assim.	Desv. Assim.	Curtose	Erro Curtose
Jan	2	221.50	221.50	216.00	227.00	216.00	227.00	60.50	7.78	5.50				
Fev	2	215.50	215.50	198.00	233.00	198.00	233.00	612.50	24.75	17.50				
Mar	2	248.00	248.00	168.00	328.00	168.00	328.00	1280.00	113.14	80.00				
Abr	2	85.50	85.50	81.00	90.00	81.00	90.00	40.50	6.36	4.50				
Mai	2	79.50	79.50	69.00	90.00	69.00	90.00	220.50	14.85	10.50				
Jun	2	72.00	72.00	58.00	86.00	58.00	86.00	392.00	19.80	14.00				
Jul	3	144.67	116.00	97.00	221.00	97.00	221.00	4460.33	66.79	38.56	1.58	1.22		
Ago	3	143.00	131.00	125.00	173.00	125.00	173.00	684.00	26.15	15.10	1.63	1.22		
Set	2	241.50	241.50	220.00	263.00	220.00	263.00	924.50	30.41	21.50				
Out	2	232.50	232.50	217.00	248.00	217.00	248.00	480.50	21.92	15.50				
Nov	2	223.50	223.50	210.00	237.00	210.00	237.00	364.50	19.09	13.50				
Dez	2	304.00	304.00	291.00	317.00	291.00	317.00	338.00	18.38	13.00				

Tabela 18- (a) Estatística descritiva da pluviosidade em Bertioga (DAEE, 2012); (b) Série histórica 1970-1994, das bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba; (c) série histórica 2000-2010 (“b” e “c”:FREITAS *et al.*, 2011) e, (d) série 2009-2011 (PEREIRA, 2011). Leitura: Assimetria - Coeficiente de Assimetria entre -0.5 e 0.5= Simétrica; Valores > 0.5 = Assimetria positiva; Valores < -0.5 = Assimetria negativa. Curtose: Mesocúrtica (normal) K = 0.263; Platicúrtica (achatada) K > 0.263; Leptocúrtica (alongada) K < 0.263.

Também são semelhantes os valores observados das medianas da pluviosidade e a resposta dessa variável mês a mês, a similaridade de seus ambientes sedimentares, e a

correspondência dos dados utilizados com o mesmo tipo de ambiente sedimentar, localizados aproximadamente no mesmo paralelo.

Esses resultados concordam com os resultados de Pereira (2011), que observou: (1) o BHC sequencial em equilíbrio dinâmico (BHC_0) durante os meses de junho e julho de 2010, e, (2) o deslocamento temporal das taxas de precipitação.

De acordo com isso, os valores de pluviosidade desses meses representam o limite máximo de precipitação, acima do qual se pode desencadear um evento de inundação.

Na região existe um comportamento sinusoidal dos eventos climático-hidrológicos, que evidenciam a periodicidade anual desses eventos, tal e como se observa nos gráficos das figuras 36 e 37, correspondentes respectivamente aos registros de pluviosidade para a série histórica 1970-1994 (DAEE, 2012), e às séries temporais de precipitação mensal acumulada dentro das bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba (séries entre março de 2000 até junho de 2011), obtida pelo sensor TRMM (Freitas *et al*, 2011).

Deve-se considerar que, face ao que acontece nos grandes rios, o tempo de resposta da planície à enxurrada nas cabeceiras dos rios Itaguapé e Guaratuba, é relativamente curto.

Observam-se duas condições. A primeira é que esse tempo de resposta curto permite deduzir que o comportamento sinusoidal da precipitação, espelha um *comportamento pulsátil* do sistema, expressando gráficos análogos aos obtidos nas medições do pulso utilizando valores da vazão.

Figura 36. Série histórica de Pluviosidade mensal no município de Bertioiga (posto E-125), entre 1970 até 1994. Fonte: Dados de DAEE, 2012.

A segunda é que, além de que o comportamento pulsátil se reflete na pluviosidade, também se evidencia uma diferenciação na precipitação que recebem as duas planícies de

maré, pelo que se deve esperar que houvesse diferenças significativas no comportamento pulsátil dos dois subssistemas.

Figura 37. Séries temporais para precipitação acumulada baseada no sensor TRMM, bacias dos rios Itaguapé (a) e Guaratuba (b). Note-se a queda da precipitação no trimestre conformado por junho, julho e agosto. Fonte: Freitas *et al*, 2011.

Tal comportamento pulsátil é um tema que será abordado com maior detalhe quando se explique o funcionamento hidráulico do sistema.

O comportamento sinusoidal evidencia-se igualmente nos valores de evapotranspiração, tal como observou Pereira (2011) para a bacia do rio Guaratuba (figura 38).

Figura 38: a) Curva sinusoidal de evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba abrangendo três períodos secos / chuvosos, segundo dados de campo de temperatura do período de julho/2009 - agosto/2011; b) Média amostral e média histórica mensal. Fonte: a) dados de campo processados por Pereira (2011); b) dados de temperatura do ar, série histórica de 1961 -1990, INMET (2012), processados por Pereira (2011).

Por fim, Pereira (2011) fez um monitoramento do lençol freático (NA) no rio Guaratuba entre maio de julho de 2010 e maio e agosto de 2011, e encontrou que quando ocorre déficit hídrico, os níveis de NA são extremamente profundos, a exceção das áreas de paleolagunas, onde o NA se mantém aflorante ou subaflorante durante todo o ano (figuras 39-40).

Figura 39

Figura 40

Figuras 39 - 40. Curva de variação vertical do nível do lençol freático (NA) nas diferentes unidades geológicas insertas na planície, medidos com piezômetros. Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011. Fonte: Pereira (2011). Legenda: Piezômetro A1: em Cordões Litorâneos Holocênicos sob Floresta Baixa de Restinga (FbR); Piez-A2: em Cordões Litorâneos Holocênicos sob Floresta Alta de Restinga (FaR); Piez-B: em Terraços Marinheiros Holocênicos sob FaR; Piez-C: em Terraços Marinheiros Pleistocênicos baixos sob FaR; Piez-F: em um Terraço Fluvial Pleistocênico sob Floresta Aluvial; Piez-E1: em Terraços Marinheiros Pleistocênicos altos (LPTa/FaR); Piez-E2: em Depressões *Peleoestuarina-lagunar-estuarinas* Holocênicas (LCD/FaRu) sob Floresta alta de Restinga úmida (FaRu); Piez-G - em planície de Depósitos Mistos sob Floresta de Transição Restinga-Encosta (FTR) e; Piez-H - em Depósitos de Encosta sob FTR.

Esse autor encontrou que nos meses de menor pluviosidade, há períodos de déficit no Balanço Hídrico (BHC), tanto sequencial como no normal, e ainda meses com BHC “zerado” (figura 41), quer dizer, em equilíbrio dinâmico. Essa última informação resultou muito valiosa e relevante na hora de definir o funcionamento hidráulico do sistema (vide *Medição do pulso do Sistema Bertioga*). Conforme essa figura, esse autor também observou um deslocamento dos meses de déficit hídrico, a respeito dos meses que historicamente apresentam BHC negativo.

Todas essas observações e análises de dados confirmam que na região existe sim uma época de estresse hídrico para o sistema, que pode ser considerado como um período de déficit hídrico.

Figura 41. BHC Normal (a) e sequencial (b), para a bacia do Rio Guaratuba; CAD de 150 mm. Fonte: a) dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009), processados por Pereira (2011); b) dados de precipitação coletados e processados por Pereira (2011), entre julho/2009 e agosto/2011.

Embora seja um ponto controverso, essas observações também indicam que o geossistema tem um caráter de azonalidade climática e paisagística, porque mistura atributos da faixa hiperúmida equatorial (Processo químicos e bioquímicos de alteração generalizada; acúmulo de sedimentos e matéria orgânica em condições de pântanos), com outros atributos inerentes à faixa úmida tropical como os processos químicos e bioquímicos de alteração generalizada; e dissecação linear da Baixa encosta e da planície.

Conforme Boulet *et al.*, (1977, *apud* VITTE, 2001), considerando as variáveis estruturais e climáticas, teoricamente elas facilitam uma interação entre alteração geoquímica das rochas e a erosão superficial, enquanto que os processos de lixiviação instabilizam os horizontes superficiais, preparando-os aos processos erosivos. Por fim, a migração das argilas, dos oxidróxidos de ferro e alumínio e ácidos orgânicos em profundidades, intensificariam o aprofundamento do intemperismo.

Aspectos climáticos relacionados com fenômenos de macroescala

Os fenômenos de macroescala são aqueles em que as acelerações próprias do sistema são de uma magnitude desprezível frente à aceleração de Coriolis (CHARNEY, 1948). Orlanski (1975) define a macroescala como a escala espacial maior de 2000 km e temporal na ordem de uma semana ou mais.

Conforme (THUNIS Y BORNSTEIN, 1996), os fenômenos de macroescala incluem a circulação atmosférica geral e ciclones sinóticos, entre outros. Outros autores consideram, entre outros exemplos de fenômenos de macroescala, o efeito ENSO (“El Niño”), e as mudanças climáticas.

Este último ainda é objeto de controvérsias enquanto ao entendimento das mudanças climáticas como o aquecimento global da terra (MARUYAMA, 2009; LINO, 2009; MOLION, 2010, entre outros). Todavia, resulta evidente que nenhum autor afirma a inexistência do fenômeno, e mais bem discordam do rumo das mudanças climáticas (se vai para um aquecimento ou, pelo contrário, um esfriamento global²¹).

Embora não seja objeto de análise nesta pesquisa entrar em uma discussão a respeito desse debate, as análises dos resultados a respeito da pluviosidade indicam que, pelo menos nos últimos 10 anos, há sim algumas características climáticas que só podem ser explicadas ao nível dos fenômenos de macroescala, incluindo aspectos relacionados com as mudanças climáticas globais (MCG).

De acordo com os testes estatísticos, observou-se que ao considerar a frequência da precipitação (no intervalo 25-75%), houve um inusitado deslocamento do período esperado de maior pluviosidade, principalmente para o mês dezembro, (figura 42).

Conforme a série histórica dos dados do sensor TRMM para o período entre 2000 e 2010 (c), confirma-se que esse deslocamento observado é significativo, tanto para a bacia do Itaguaré, como para Guaratuba (figura 43).

Vale a pena anotar que os dados entre 2009-2011 do sensor TRMM para Guaratuba, mostraram-se consistentes com os a média observada por Pereira (2011), quem fez o levantamento de dados por meio de sete (07) pluviômetros.

Quando comparadas com a série histórica 2000-2010 com a série 1970-1994, note-se a queda do intervalo (25-75%) da pluviosidade nos meses de janeiro, março, abril e maio, a redução da amplitude do pulso no mês de fevereiro.

Esse deslocamento é observado de maneira regular a partir do ano 2001 inclusive, assim que, tal como sugerido por Pereira (2011), não se pode descartar a possibilidade de influência de fenômenos de macroescala como o ENSO ("*El Niño* Southern Oscillation") ou "La Niña" (figura 43).

Observa-se que a relação entre força do fenômeno e o volume da pluviosidade anual no período entre 1970-1994, não resulta evidente esse relacionamento (figura 44). Por outro lado, a força do fenômeno a partir do ano 2000 até 2010 foi considerada como fraca.

²¹ Palestra do Prof. Dr. Kenitiro Suguio, XII Congresso Da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA. La Plata, Argentina, 2009.

Figura 42: Box & Whisker Plot da Mediana, o Mínimo e Máximo da pluviosidade registrada no posto E2-125, no município de Bertioga para a série histórica de 1970-1994 (a), pluviosidade registrada por Pereira para a bacia de Guaratuba entre 2009 e 2011 (b), pluviosidade registrada pelo sensor TRMM, série histórica 2000-2010, para as bacias dos rios Itagaré (c) e Guaratuba (d). **Fonte:** a) dados de DAEE (2012); b) dados de Pereira (2011); (c) e (d) Dados TRMM, disponibilizados por Freitas *et al* (2011).

Figura 43. Relação entre a pluviosidade anual entre 1970 e 1994, e a ocorrência do “El Niño” e “La Niña”. Fonte: Box & Whisker Plot elaborado a partir dos dados AEDD (2012). Tabela de ocorrências elaborada por Pereira (2011) a partir de diversas fontes de informações.

Todavia, por um lado é claro que a ocorrência do fenômeno “El Niño” se dá com maior força justamente no mês de dezembro (independentemente de que tão forte seja a respeito da média histórica).

Por outro lado, a regularidade do deslocamento para esse mês da maior pluviosidade acumulada, a partir do presente século, é um indício de que o comportamento climático da região é mais sensível ao fenômeno ENSO, inclusive nas suas manifestações mais leves.

Por tanto, sugere-se que essa sensibilidade ao fenômeno ENSO (evidenciado no deslocamento das frequências de pluviosidade) deve ser explicado por outras razões e não tanto pelo fenômeno em si mesmo.

Como já foi mencionado, o outro fenômeno a macroescala que está acontecendo tem a ver com as mudanças climáticas globais (MCG), que possivelmente está manifestando-se a nível regional ou inclusive local.

No caso do Sistema Bertioga, sugere-se que o aumento da pluviosidade no mês de dezembro em relação a seu intervalo histórico, e como consequência o deslocamento dos picos de umidade para esse mês, deve-se à influência direta da MCG sobre a pluviosidade local, enquanto que o “El Niño” atua como um coadjuvante.

Tal sugestão pode ser validada na medida em que fosse acumulada uma série histórica maior ou integrando esta informação a outras geradas em outros lugares do mundo. Resumindo, a área de interesse desta pesquisa resulta ser de uma grande sensibilidade às mudanças ambientais locais, e presumivelmente ao nível de macroescala.

5.1.5. Resultados sobre o funcionamento hidráulico e hidrologia da planície costeira.

Neste trabalho se propõe um esquema do funcionamento hidráulico do umidal estudado, e que se apresenta no fluxograma da figura 44 como base para o entendimento do funcionamento natural da planície costeira, que, por suas características particulares, aqui é chamado de *Sistema Bertioga*.

O fluxograma está em parte baseado no que se sabe a respeito das planícies aluviais (NEIFF, 1990a, 1996, 1999; NEIFF *et al.*, 1994; GARCÍA-LOZANO & CARDONA, 1996; GARCÍA-LOZANO & DÍAZ-RUBIANO, 2000; BALBINO *et al.*, 2008; ELOSEGI & SABATER, 2009, entre outros).

Outra fonte veio do que se conhece em particular sobre a dinâmica hídrica e o comportamento geológico e pedológico dos ambientes sedimentares de planície costeira e baixa encosta de Bertioiga (SOUZA, 2006, 2007; SOUZA-JÚNIOR *et al.*, 2007; PEREIRA, 2011, BADEL-MOGOLLÓN *et al.*, 2012, entre outros).

Figura 44. Proposta de funcionamento hidráulico da planície costeira de Bertioiga. Adaptação do comportamento de uma planície de inundação típica, e a interação com os elementos particulares de planície costeira em questão. Para efeitos *didáticos* considerou-se que o pulso começa na potamofase (1) e termina na limnofase (2). Adaptado de García-Lozano & Cardona (1996) e García-Lozano & Díaz-Rubiano (2000).

O fluxograma parte da premissa de que em teoria os sedimentos são temporariamente estocados ao longo do vale e, sob uma condição de equilíbrio dinâmico, sofre aumento ou

diminuição por um longo tempo (anos). A taxa de entrada de sedimentos é aproximadamente igual à de saída (ROCHA, 2011).

De acordo com o fluxograma, no início a planície está submetida ao regime hidrológico, que determina duas características: o período de maior precipitação, chamada de potamofase ou flúviofase (A), e o período de menor precipitação, chamada de limnofase (N).

As duas situações envolvem entrada e saída de água ao sistema, associando-se a eles processos de retrabalhamento, acumulação, dispersão e seleção granulométrica dos sedimentos, nutrientes e organismos associados.

Na flúviofase, ocorre o aumento no nível das águas no interior da bacia (B), e o aporte de água do rio para as áreas úmidas, os brejos, os canais secundários e a recarga de aquíferos (C, G).

Pelo excesso de água se produz a inundação das áreas marginais que causa um aumento dos processos erosivos (D), mas também permite a entrada de nutrientes e outros elementos no sistema, causando um enriquecimento do mesmo (E) e a explosão demográfica de organismos aquáticos e subaquáticos (F).

Por outro lado acelera a decomposição da vegetação, com aporte de sedimentos pelíticos e nutrientes, bactérias, invertebrados, etc. (H, I), que decantam e incorporam ao solo (J).

Essa progressiva e cíclica decantação dos nutrientes e sedimentos é um processo fundamental para a ciclagem de nutrientes na formação de solos hidromórficos e espodossolos nos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, e dos gleissolos nos depósitos aluviais. O processo é acelerado nesse período de elevado NA, quando a ciclagem de nutrientes atinge seu ápice, e os processos de iluviação e eluviação são máximos.

Já os depósitos paleoestuarino-lagunares, grande parte dos nutrientes ficariam “estocados”, pelo que tais depósitos pelíticos poderiam ser considerados como “armadilhas de carbono”.

O excedente de água sai da planície para o sistema lótico, e deste para o sistema marinho (K), carregando consigo fitomassa e sedimentos.

Tanto na flúviofase como na limnofase, os sedimentos e nutrientes no seu percurso para a foz dos rios, podem alimentar as áreas estuarinas, ou bem sair do sistema para o mar sem muita resistência na maré de quadratura (U), propiciando-se dessa maneira um sistema ecológico aberto.

Por outro lado, parte da carga de nutrientes e sedimentos pode reintegrar-se e retornam ao sistema na maré na sizígia (L), (anexo 3, figura 45, pág. 233), propiciando dessa maneira um sistema ecológico que desacelera a saída de energia, sobretudo se tratando de sistemas como Guaratuba e Itaguapé, em cujas desembocaduras se apresentam sistemas estuarinos aparentemente dominados por ondas (vide “*classificação das áreas estuarinas de Guaratuba e Itaguapé*”), que de certa forma se “potencializam” nas marés. Essa condição se repete diariamente em função da preamar/baixa-mar (figura 45, anexo 3).

Durante a limnofase (O), desce o volume da precipitação nas bacias e uma progressiva dissecação e isolamento dos de canais secundários, por causa do aumento do fluxo das águas à calha do rio (P).

Assim que o nível dos rios desce, as águas são drenadas (Q) expondo os solos, disponibilizando solos agora enriquecidos pela matéria orgânica da fitomassa morta. A vegetação latente começa a renascer (R), a qual é aproveitada pela fauna que foi deslocada durante o período de inundação (S).

5.1.6. Resultados das medições do pulso hidrossedimentológico, subsistema Guaratuba.

A informação sinóptica do subsistema Guaratuba apresentada na figura 46 dá conta da regularidade dos pulsos no intervalo de tempo utilizado. Também evidencia que os picos maiores (dos pulsos de inundação) coincidem com o ano calendário. Foram observados 17 pulsos completos no intervalo de tempo estudado (10,59 anos).

Figura 46. Gráfico dos pulsos entre 2000 e 2011 para o Rio Guaratuba. Trazo sólido (vermelho): variação pluviométrica; linha verde: ponto acima do qual há inundação; linha longa + ponto: Média das máximas; linha curta + dois pontos: regressão; trazos quebrados: média; pontos: Desvio padrão. Na tabela adjunta: estatísticos da função fFITRAS.

O coeficiente de assimetria indica que o conjunto de pulsos durante a última década segue uma distribuição positiva ($0,99 > 0,50$), devido à alta pluviosidade na localidade.

Conforme a média das máximas, a maior expressão de inundação na bacia chega quando atinge um P_{30} (pluviosidade acumulada em 30 dias) em torno dos 340 mm, enquanto que, conforme a média das mínimas, a expressão da fase de déficit hídrico se dá em P_{30} menores a 39,65 mm.

A curtose segue uma distribuição mesocúrtica (valores entre 0 e 1,2), o que indica que, embora a assimetria positiva, os valores se concentram ao redor da média.

Observa-se que durante o intervalo de análise, o subssistema Guaratuba permaneceu em fase de inundação 59% do tempo.

Aplicando a formulação de conectividade proposta por Neiff & Poi de Neiff (2002).

$$QCF_{\text{Guaratuba}} = 2282/1583 = 1,44$$

Esse valor de conectividade é aos referenciados para outros rios, como por exemplo a planície do Rio Paraná com ($QCF = 0,78$, conforme Casco *et al*, 2005b). Mas, quanto de significativo pode ser esse valor?.

Usando a fórmula com os dados normalizados, tem-se:

$$QCF_t \text{ Guaratuba} = 206 / 365 = 0,23$$

Contudo, após os valores serem normalizados, a prova Qui-Quadrado indica que esse valor não é significativamente alto a respeito do número de dias esperados em um sistema em equilíbrio dinâmico (com metade dos dias do ano em uma fase do pulso):

$$X^2_{obs} = 3,026; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l.})$$

De acordo com isso, em termos globais no subssistema Guaratuba há um equilíbrio dinâmico entre os eventos associados à potamofase e à limnofase, pelo que os organismos encontram-se em estresse biótico na metade do tempo em um ano.

Aplicando o mesmo teste ao número de pulsos observados por ano (em torno de 1,61), indica que há um número de eventos registrados que não são significativamente maiores aos esperados para um regime unimodal (um período seco e outro úmido por ano):

$$X^2_{obs} = 0,367; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l.})$$

A *tendência* unimodal do regime dos pulsos foi confirmada com o histograma de frequências (figura 47), com os picos maiores mais ou menos coincidentes com o início do ano.

Figura 47. Histograma de frequências da série pluviométrica entre 2000 e 2011, de acordo com as médias mensais, para o subssistema Guaratuba. As barras vermelhas indicam a amplitude da potamofase e as verdes da limnofase..

De acordo com essa figura, a estacionalidade da potamofase se dá entre os meses de setembro até fevereiro. Já no mês de março se dá uma espécie de transição para a limnofase, fase que começa no mês de abril e termina em agosto quase de maneira abrupta.

Contudo, tem meses onde na fase de déficit hídrico podem ter eventos de chuva forte ou moderada, pelo que eventos relacionados à potamofase bem podem ser acionados, sobretudo aqueles relacionados com a amplitude do pulso, como o transporte de sedimentos à planície, a decomposição da matéria orgânica e acúmulo de detritos, e a integração dos habitats aquáticos ou semiaquáticos da planície.

A média da intensidade se encontra significativamente acima da esperada a respeito do ponto de equilíbrio dinâmico em um ano:

$$X^2_{obs} = 7,443; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l})$$

Isso significa que em média, prevalecem todos os eventos relacionados com a potamofase. Entre esses eventos, cabe destacar a decomposição da matéria orgânica, áreas que naturalmente atuam como armadilhas de carbono.

Tal como se observa na Figura 46 (pág 117), uma precipitação mensal acumulada acima de 339,22 mm e abaixo de 39,65 mm indicam eventos extremos de potamofase e limnofase, respetivamente.

Unifica-se ainda que a seca extrema é um evento que aconteceu de maneira cíclica nos últimos 10 anos, ainda nos anos mais chuvosos. Apesar disso, o evento fica mascarado pela alta pluviosidade que o antecede ou a sucede.

Destacam-se os meses de alta precipitação, ocorrendo eventos significativamente extremos os últimos dois anos. Essa consideração é evidenciada também na avaliação da variabilidade da magnitude dos eventos (tensão). O coeficiente de variação (tensão/média dos valores) indica um valor de 1,16 para a tensão da máxima, enquanto que para a tensão da mínima é de 3,28.

Tensão da máxima: $X^2_{obs} = 0,027$; $X^2_c = 3,841$, ($\alpha = 0,05$, 1 g.l): Diferença não significativa a respeito da média anual da precipitação.

Tensão da mínima: $X^2_{obs} = 5,218$; $X^2_c = 3,841$, ($\alpha = 0,05$, 1 g.l): Diferença significativa a respeito da média anual da precipitação.

5.1.7. Resultados das medições do pulso, subssistema Itaguapé.

A informação sinótica do subssistema Itaguapé apresentada na figura 48 mostra a regularidade dos pulsos no intervalo de tempo utilizado, tal como aconteceu com o subssistema Guaratuba. Igualmente evidencia que os picos maiores (dos pulsos de inundação) coincidem com o ano calendário. Foram registrados 18 pulsos no intervalo de tempo estudado (10,59 anos).

Figura 48. Pulsos entre 2000 e para o Rio Itaguapé. *Trazo sólido (vermelho):* variação pluviométrica; *trazo verde:* limite da precipitação acima da qual acontece uma inundação; *linha longa + ponto:* Média das máximas; *linha curta + dois pontos:* regressão; *trazos quebrados:* média; *pontos:* Desvio padrão. Na tabela adjunta: estatísticos da função fFITRAS.

O coeficiente de assimetria indica que o conjunto de pulsos durante a última década segue uma distribuição positiva.

A curtose segue uma distribuição, leptocúrtica (valores entre 1,2 e 2,0), o que indica que a concentração dos valores da média e do desvio padrão são menores que a da normal. Também significa que há uma probabilidade menor que a normal ter valores extremos.

A máxima expressão de inundação na bacia chega quando atinge um P_{30} em torno dos 281 mm (em média), enquanto que a expressão máxima da fase de déficit hídrico se dá em um P_{30} em torno dos 36 mm.

O valor observado na média da máxima é significativamente menor que o esperado, em relação aos observados no Rio Guaratuba, mas não na média mínima observada:

$$\text{Média máxima: } X^2_{obs} = 9,951; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l})$$

$$\text{Média mínima: } X^2_{obs} = 0,311; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l})$$

O QCF_t Itaguapé da amplitude do pulso indica que a diferença entre as fases (potamofase/limnofase) não é significativa para esse atributo. Os pulsos seguem igualmente um regime unimodal, mas com uma correlação complexa (não linear) entre as variáveis.

$$QCF_t \text{ Itaguapé} = 194,50 / 365 = 0,12; X^2_{obs} = 0,80; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l})$$

A *tendência* unimodal do regime dos pulsos foi confirmada como histograma de frequências (figura 49), com os picos maiores mais ou menos coincidente com o início do ano, com um período de transição entre a potamofase e a limnofase, e viceversa.

De acordo com essa figura, a estacionalidade da potamofase se dá entre os mesmos meses que no subssistema Guaratuba (de setembro até fevereiro). Igualmente no mês de março se dá a transição para a limnofase, fase que começa no mês de abril e termina em agosto. No mês de setembro acontece uma segunda transição, desta vez da limnofase para a flúviofase.

Figura 49. Histograma de frequências da série pluviométrica entre 2000 e 2011, de acordo com as médias mensais, para o subssistema Itaguapé. As barras vermelhas indicam a amplitude da potamofase e as verdes da limnofase.

Ao contrário do subssistema Guaratuba, a média da intensidade não é significativamente diferente da média esperada a respeito do ponto de equilíbrio dinâmico em um ano:

$$X^2_{obs} = 2,999; X^2_c = 3,841, (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l})$$

Isso significa que o subssistema Itaguapé é um pouco mais estável que o subssistema Guaratuba, ou, em outras palavras, um pouco menos dinâmico nos eventos relacionados com esse atributo e descritos da abordagem conceitual da pesquisa.

A frequência estacional deste subssistema indica que a vegetação deve se adaptar a situações de estresse hídrico extremo em pelo menos um dos cinco meses de déficit hídrico, a uma situação de estresse hídrico moderado durante três meses do ano, e mínimo ou inexistente durante um dos cinco meses de déficit hídrico (março).

Todos os resultados indicam que, embora os dois subssistemas estejam interconectados, e ainda que existam semelhanças nos ecótopos que a compõem, tal como se esperava, existem diferenças significativas no seu comportamento pulsátil, pelo que muito possivelmente na atualidade também estejam evoluindo de maneira diferenciada.

Uma maneira de conhecer o rumo dessa evolução é através da análise espacial das características físico-químicas das águas subsuperficiais e os solos sistema.

5.1.8. Elasticidade do Sistema Bertioga

Como dito, a elasticidade do Sistema Bertioga foi medida tomando como base as imagens de satélite coincidentes com a maior e a menor precipitação mensal acumulada dos últimos 10 anos (dezembro de 2009 e julho de 2010 respectivamente), (figura 50).

Figura 50. Imagem de satélite em tons de cinza utilizada para determinar a área de inundação extrema (a) e déficit hídrico extremo (b). Os matizes mais escuros correspondem às áreas inundadas (até 39 em “a” e até 14 em “b”). Note-se o maior contraste de tons de cinza em “b”, entre as áreas alagadas e as secas, indicando a regressão fluvial. Processado a partir da Banda 5_CBERS (a) e a Banda 5_IRS_P6 (b), de dezembro de 2009 e julho de 2010 respectivamente. Fonte: INPE (2012).

Pelo resultado obtido se observa que o sistema apresenta baixa elasticidade (tabela 19), muito semelhante à apresentada pelos Esteros del Iberá –Argentina- (Elasticidade = 1,54), se tomarmos como referência os resultados obtidos por Neiff (1999) em outras planícies.

Categoria	[A] ha. inundadas	[B] Total ha. amostradas	[A] / [B]	Elasticidade [(1) / (2)]
Potamofase extrema (1)	1887,27	6237,95	0,30	1,40
Limnofase extrema (2)	1295,25	6006,12	0,22	

Tabela 19- Elasticidade relativa do Sistema Bertioiga.

Aliás, uma prova de Qui-Quadrado indica que, do ponto de vista da elasticidade do sistema, não existem diferenças significativas entre o Sistema Bertioiga e o macrossistema Esteros del Iberá:

$$X^2_{obs} \text{ Sist. Bertioiga} = 3,841; X^2_c = 3,841 (\alpha = 0,05, 1 \text{ g.l})$$

Obviamente esses resultados não indicam que ambos os sistemas sejam iguais ou sequer semelhantes do ponto de vista ecossistêmico, mas sim que nos dois sistemas, os organismos que interagem neles (vegetação, fauna), estão condicionados a uma estreita margem de variação nas condições ambientais.

Nesse sentido, a fragilidade do Sistema Bertioiga em comparação aos Esteros del Iberá deve ser bem maior, embora sejam muito semelhantes enquanto à elasticidade, devido a que o primeiro é um sistema que ocupa uma área bem menor a respeito do segundo.

5.1.9. Resultados sobre a caracterização físico-química das águas superficiais.

Com base na salinidade e a partir das observações fisiográficas, geológicas e geomorfológicas, foram localizados os pontos geográficos coincidentes com o limite das fácies entre sedimento marinho e fluvial, e o limite de influência das marés para os dois rios.

De acordo com a figura 51 “a” e “b”, observa-se nos dois rios uma configuração em funil, com barra na ligação com o mar. De acordo com a localização dos pontos de declinação da salinidade até 0,1 PSU e 0,05 PSU, observou-se na imagem de satélite, que tais limites abrangem quase a totalidade da área reconhecida como zona estuarina, com mudança quase abrupta da vegetação.

Figura 51. Delimitação geométrica das áreas estuarinas dos rios Guaratuba (a) e Itaguapé (b), a partir das fácies geomorfológicas e hídricas visíveis, e as coordenadas das medições realizadas para os valores de salinidade (em PSU), superpostas às imagens de satélite. Fonte de imagens: Google Earth®, serviço de mapas (2012).

Essa característica está relacionada com a baixa elasticidade do sistema, indicando também que muito possivelmente não há intrusão da cunha salina muito além dos limites da área estuarina, pelo menos na profundidade necessária para o bom desenvolvimento de vegetação estenohalina (pouco resistente à salinidade).

Deve-se entender que não se trata de uma caracterização dos estuários envolvidos, e sim da coluna da água do trecho que teria efeitos sobre as águas superficiais das áreas alagadas da planície, caso houvesse intrusão salina lateral.

Subsistema Guaratuba.

Na figura 52 se apresenta o perfil das variáveis físico-químicas ao longo da área superficial estuarina do rio Guaratuba.

Figura 52. Perfil das variáveis físico-químicas ao longo da área estuarina do rio Guaratuba. Variáveis: Temperatura (°C), pH, Potencial redox (ORP), Salinidade (PSU), Oxigênio dissolvido (OD), Condutividade (µS/cm), Resistividade (KOhm/cm), e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

O dia e a hora da amostragem (27 de agosto de 2009) corresponderam à maré de quadratura. Para o subssistema Guaratuba a amostragem foi feita entre 06h46min e 07h46min.

Conforme a tábua de marés disponibilizada através de internet pela CPTEC (INPE, 2012), o nível do mar na hora de início da amostragem atingiu um valor aproximado de 0,78 m, e ao final da amostragem, 0,75 m; o intervalo das marés três horas antes e três horas depois da amostragem foi entre 0,8 e 0,7 m (caindo), pelo que o nível do estuário correspondeu aproximadamente à altura da maré, considerando ainda o retardo da resposta do sistema da resposta à maré. Segundo as observações de campo para esse dia, não houve chuvas registradas para a área.

Conforme os critérios de Prichard (1967), os valores das variáveis físico-químicas encaixam no estuário de tipo positivo. De acordo com o sistema Veneza de classificação (1959), a coluna superficial do estuário externo se considera mixo-mesohalino (entre 5 e 18 PSU), mas com alguns trechos mixo-polihalinos (entre 18 e 30 PSU). No estuário central e interno se encaixam na categoria de mixo-oligohalino (entre 0,05 e 5,0 PSU).

No trecho estuarino externo (também conhecido como baixo estuário), notam-se os menores valores de salinidade à jusante. Possivelmente isso reflete um padrão de distribuição parcialmente misturado mais do que bem estratificado, sendo que essa curva é acompanhada pela registrada para SDT e K, e ainda com um súbito aumento do pH à justamente nesse trecho.

Conforme aos resultados do pH, tanto a área estuarina como na fluvial encaixam dentro do critério CONAMA de aptidão para fins recreativos, sendo as águas ligeiramente ácidas e com declinação dos valores no sentido litoral-rio, exceto no trecho de flutuação no estuário externo, onde se registraram valores em torno do pH neutro.

A temperatura se mostrou mais ou menos constante ao longo do estuário (entre 17 e 19,5 °C), com uma ligeira queda na fase fluvial. Para esse intervalo de temperatura e conforme aos valores de salinidade, espera-se uma saturação de OD dissolvido em torno de 8,56 a 8,90 ppm. Os resultados indicam uma saturação acima de 9,2 ppm em todo o sistema.

Observa-se que no estuário central acontece uma queda dessa concentração a respeito do estuário externo e interno; e ainda um aumento já na fase fluvial. Aliás, o perfil observado não segue o esperado. Teoricamente deveria haver uma queda dos valores em direção à fase fluvial. Sabe-se que um aumento da taxa fotossintética na fase fluvial se relaciona com esse tipo de evento.

O potencial redox (ORP) encontrou-se com valores negativos tanto na área estuarina quanto no rio. Isso significa que em toda a área predominam as reações de redução na coluna superficial da água.

Esse predomínio possibilita o aumento dos teores de sulfuro de hidrogênio, metano e amoníaco, e a conversão do íon férrico a ferroso, sobretudo no estuário interno.

Vale mencionar que na área do estuário externo com valores mais negativos coincide com a área de menor pH e maior temperatura do sistema. Em geral, no estuário interno e na fase fluvial o ORP não se correlaciona bem com as outras variáveis medidas, enquanto que no estuário central há um ligeiro incremento com a queda do OD dissolvido e a condutividade (K), embora não seja muito evidente essa correlação.

Os valores de salinidade, K e SDT mostraram alta relação. Os valores das duas últimas variáveis são atribuíveis quase que exclusivamente à primeira em menção. Seguindo a figura 52 (pág 130) e de acordo com os valores apresentados, evidentemente o risco de absorção sódio e salinidade qualificam como muito alto.

Conforme o sistema de classificação adotado, exceto em alguns trechos do estuário interior a condutividade se encontra dentro do intervalo aceitável para irrigação.

A resistividade é em geral muito baixa (abaixo de 100 Ω m), tanto na área estuarina como no trecho do rio mais próximo à área de influência das marés, indicando que o processo de biodegradação aeróbia e anaeróbia se dá com maior intensidade nessa área a respeito da fase fluvial que esta fora do alcance da maré.

O SDT se mostrou em intervalos inaceitáveis de potabilidade. Só a partir do trecho final do estuário interno em direção ao rio a água começa a apresentar valores toleráveis, tornando-se boa na medida em que não há mais influência das marés.

Subsistema Itaguaré.

Na figura 53 se apresenta o perfil das variáveis físico-químicas ao longo da área superficial estuarina do rio Itaguaré.

Tal como no Rio Guaratuba, o dia e a hora da amostragem (27 de agosto de 2009) do subsistema Itaguaré corresponderam à maré de quadratura. A amostragem foi feita entre 12h23min e 13h20min.

Conforme os à tábua de marés da CPTEC (INPE, 2012), o nível do mar na hora de início da amostragem atingiu um valor de 0,70 m, e ao final da amostragem aproximadamente

0,72 m (maré enchente); O intervalo das marés três horas antes e três horas depois da amostragem esteve entre 0,70 e 0,90 (aumentando), pelo que o nível do estuário correspondeu a=à altura da maré, considerando ainda o retardo da resposta do sistema da resposta à maré.

Figura 53. Perfil das variáveis físico-químicas ao longo da área estuarina do rio Itaipu. Variáveis: Temperatura (°C), pH, Potencial redox (ORP), Salinidade (PSU), Oxigênio dissolvido (OD), Condutividade (μS/cm), Resistividade (KOhm/cm), e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

Segundo as observações de campo, para as horas da tarde não houve chuvas registradas para a área.

Conforme os critérios de Prichard (1967), os valores encaixam no estuário de tipo positivo. De acordo com o sistema Veneza de classificação (1959), a coluna superficial de todo o estuário se considera mixo-oligohalino (entre 0,05 e 5,0 PSU).

Não obstante, foi frequente encontrar trechos com salinidade abaixo de 0,05 PSU alternando com trechos com valores acima de 0,1 PSU em todo o estuário. Além disso, não se registraram valores que atingissem sequer 1,0 PSU, incluindo a área próxima à zona de fronteira com a fase oceânica, embora considerando que no horário da amostragem ter-se-ia maré enchente.

O perfil da temperatura acompanha mais ou menos o perfil do pH, sendo que esta última variável, apresenta valores não aceitáveis para fins recreativos de acordo com os critérios da resolução CONAMA, incluindo a fase fluvial do sistema.

O potencial redox em todos os trechos indica que a coluna superficial estuarina favorece os processos de redução, incluindo a zona de descontinuidade apresentada no limite entre o estuário externo e central. Semelhante ao subsistema Guaratuba, esse predomínio possibilita o aumento dos teores de sulfuro de hidrogênio, metano e amoníaco, e a conversão do íon férrico a ferroso, sobretudo no estuário interno.

Esses valores também indicam que as concentrações de OD registram escassez extrema de O_2 , exceto na interfase entre o estuário externo e central.

Para o intervalo de temperatura observado no estuário externo e conforme aos valores de salinidade, espera-se uma saturação de OD dissolvido em torno de 8,23 - 8,90 ppm. Os resultados indicam uma saturação em torno a 9,06 ppm, indicando que nesse trecho há sobressaturação de O_2 , resultados que concordam com o mencionado no parágrafo anterior.

No estuário central, pela média da temperatura observada nesse trecho, espera-se uma saturação de O_2 em torno de 8,56 ppm. Os valores observados variam muito no trecho, mas normalmente em teores abaixo do ponto de saturação, exceto por alguns picos que coincidem com aumento da temperatura e queda de ORP. Em geral, existe uma diferença marcante entre o ORP das fases estuarinas e a fluvial.

No estuário interno a situação é similar, exceto no último trecho, onde acontece a maior escassez de O_2 , situação que continua na fase fluvial, com alguns picos de sobressaturação de OD.

Em geral, a condutividade (K) e o SDT acompanham a curva de salinidade. Na primeira variável, os valores encaixam no intervalo aceito para água de irrigação, sendo que a partir do último trecho do estuário interno até a fase fluvial, os valores encaixam na condutividade média dos rios.

De acordo com os valores apresentados de K e salinidade, o risco de absorção sódio e salinidade qualificam como médio no estuário externo e central, e baixo no estuário interno e a fase fluvial.

A resistividade em geral é muito baixa (abaixo de $10\Omega\text{m}$), em toda a área estuarina, sendo de valores superiores a $20\Omega\text{m}$ só no último terço da fase fluvial.

A variável SDT encaixa dentro do intervalo aceitável de potabilidade. A potabilidade é razoável no estuário externo e em um pouco menos dos dois primeiros terços do estuário interno, observando-se boa em um pouco mais do último terço do estuário interno e a fase fluvial.

5.1.10. Resultados sobre a caracterização das águas subsuperficiais do Sistema Bertiooga.

Profundidade do lençol freático.

Conforme a figura 54 (anexo 3, págs. 234-235), o NA apresenta uma anisotropia com valores melhor correlacionados aos 58° , o que significa que a variação do NA está orientada no sentido perpendicular à linha de costa. Os ajustes aos modelos teóricos dos variogramas se apresentam em forma de texto dentro de cada mapa. A interpretação da profundidade do NA é feita com base nos valores de referência adotados na abordagem metodológica.

Potamofase.

Correspondente aos meses entre agosto e maio do ano seguinte. Conforme a figura 54, em geral se observam lençóis mais profundos no subssistema Guaratuba, os quais variam menos entre a potamofase e a limnofase do pulso hidrossedimentológico. Os mais profundos NA (por baixo de 0,87 m) registram-se nas áreas de maior altitude dos ecótopos FaR, e FAL, e ainda em uma área isolada de FTr.

Lençóis de profundidade intermédia (entre 0,36 e 0,87 m), observam-se em algumas áreas sob FAL e FaR. Lençóis de baixa profundidade (entre 0,35 e 0,60 m) também se

observam sob FAL e FaR, mas sobretudo sob cx_FAL/FaRu e ainda sob alguns trechos de FaRu e FPa.

Lençóis subaflorantes (entre 0,21 e 0,35 m) marcam uma área de transição entre a zonas estuarina do subssistema Guaratuba e os ecótopos vizinhos.

Esse pulso se sente muito mais na Planície Central e Ocidental, orientado conforme ao eixo da linha de costa. Nesse sentido, lençóis aflorantes (entre 0,0 e 0,20 m) dominam no subssistema Itaguapé, abrangendo na sua totalidade o cx-faRu/FPa e grande parte de FPa associado a esse subssistema. Além disso, observa-se um lençol mais profundo (subaflorante) sob a maior parte de FPan.

A variação espacial do lençol apresentou uma anisotropia híbrida, que indica a presença de diferentes estruturas, que neste caso se relacionam com o mosaico de ambientes sedimentares localizados na área.

Conforme a análise de superfície, o sistema apresenta valores correlacionados aproximadamente nos 58° de azimuth.

A fraca associação espacial entre os valores também é um resultado acorde com a alta variabilidade de ambientes sedimentares.

Limnofase.

Correspondente aos meses de junho e julho. Os lençóis dos setores da planície e os ecótopos (figura 54, anexo 3, págs. 234-235) se observam com um melhor ajuste ao variograma isotrópico. Os coeficientes de regressão indicam que há uma grande concentração dos valores com lençóis com profundidade ao redor de -1,80 m.

Conforme esses resultados aprecia-se a forte mudança na profundidade do lençol na maior parte do sistema, a respeito da potamofase. Observe-se uma maior homogeneidade na variação dos níveis de NA, os quais estão mais próximos à mediana (entre -1,28 m e -1,16 m).

De acordo com o mapeamento dos lençóis aprecia-se que ainda nos ecótopos relacionados com ambientes sedimentares de tipo *peleoestuarino-lagunar* (FPa, cx_FaRu/FPa, FPan), os lençóis atingiram profundidades altas (por baixo de 0,87 m).

Observa-se que inclusive as áreas estuarinas durante a limnofase ficam com terrenos secos, com lençóis a profundidades de tipo intermédio, enquanto que lençóis aflorantes e subaflorantes não têm presença significativa no sistema.

Esses resultados também indicam que no Sistema Bertioga há uma grande capacidade de resposta ao pulso hidrossedimentológico, refletido na grande capacidade de armazenagem de água durante a potamofase, mas também uma grande capacidade de descarga dos lençóis uma vez diminui a pluviosidade, e, por tanto, as vazões dos rios, pelo que o fluxo vertical da água cobra importância devido a esse aspecto.

Além de suas implicações ecológicas, a dissimilaridade entre a época de chuva e seca (ou queda da precipitação) confirma que o sistema obedece (aqui chamado de Sistema Bertioga) ao pulso hidrossedimentológico, e que a tese de que esse pulso obedece à pluviosidade é correta.

5.1.11. Variação físico-química das águas subsuperficiais.

A continuação se apresentam os resultados obtidos para as variáveis físico-químicas do lençol freático, conforme a variabilidade espacial observada nos subssistemas Guaratuba e Itaguapé, e seus possíveis efeitos sobre os ecótopos que dominam.

Nesses resultados não se consideraram os lençóis, nem das áreas urbanizadas, nem das praias. A medição da variabilidade físico-química do sistema foi feita através da aplicação de técnicas geostatísticas, conforme o descrito na seção de materiais e métodos.

Os critérios de análise foram os mesmos utilizados caracterização da coluna superficial das águas estuarinas e fluviais.

Os resultados aqui apresentados consideram-se para um nível médio do mar ($0,75 \pm 0,05$ m) nas fozes dos rios, com um movimento normal de ondas na área de rebentação.

Salinidade. De acordo com os resultados geostatísticos apresentados na figura 55 (anexo 3, pág. 235), a partir dos eixos dos subssistemas (setas pretas na figura 55), após mais ou menos 2,0 km os valores de salinidade dos lençóis deixam de se correlacionar, conforme o modelo que melhor expressa a anisotropia da salinidade. Em outras palavras, a influência da cunha salina está quase restrita à área próxima à zona estuarina, mas entrando ao sistema no sentido S-N.

Conforme o variograma de superfície, os lençóis se correlacionam melhor nos 33° de azimute.

O modelo esférico do semivariograma isotrópico indica uma anisotropia híbrida para as diferentes direções, sugerindo diferentes estruturas nos sistemas, que na prática significa

que a concentração da salinidade no lençol muda dependendo do ambiente sedimentar e sua proximidade com a área estuarina. Depósitos localizados na Planície Central Intermediária são menos propensos à influência da cunha salina.

Considerando como significativos valores de salinidade acima de 0,1 PSU, o alcance da intrusão da cunha salina é maior no subssistema Guaratuba a respeito do Itaguapé, enquanto que nesse último está bastante restrita ao sistema estuarino e parte do ecótopo cx_FaRu/FPa.

Os valores apresentaram uma correlação anisotrópica em um rumo de 30° de azimuth, com uma importante penetração no subssistema Guaratuba, em direção à Serra do Mar.

A partir das fozes dos rios foram medidos os ângulos de maior penetração da cunha salina, observando-se que se abre como um leque em ambos os subssistemas.

No subssistema Guaratuba esse ângulo se abre para o Oeste até -70,7° de azimuth, o eixo principal se desloca 2° de azimuth, e para o Leste se abre até 36,4°. Isso significa que em total, observa-se que o leque salino tem um ângulo de abertura de 65,7°.

Como já foi dito, a cunha salina entra ao sistema no sentido S-N. Isto se deve a que o ângulo apresentado no eixo principal da cunha salina está orientado para o Norte, seguindo a calha de um dos afluentes do rio, ou o próprio rio.

Entretanto, no subssistema Itaguapé a abertura do ângulo do leque salino foi muito similar ao Guaratuba (entre -70,7° até 36,3° de azimuth, com um ângulo de abertura total de 65,6°), mas o ângulo do eixo principal foi de -22° de azimuth. Esse ângulo indica uma orientação da cunha salina mais para o Oeste, seguindo a calha principal do rio.

Ao Oeste da área estuarina do subssistema Guaratuba, a cunha salina atinge a porção Sul de uma das unidades do ecótopo FaRu, onde perde influência pela presença de terraços marinhos pleistocênicos ocupados por FaR localizados na Planície Central Intermediária.

Os valores de salinidade são altos, chegando a atingir até 6,4 PSU em algumas áreas paleoestuarino-lagunares próximas ao estuário atual. De acordo com a Resolução 357/2005 de CONAMA, as águas desse lençol atingido pela cunha salina devem ser consideradas como salobras. Conforme o Sistema Veneza (1959), essas águas se consideram mixo-oligohalinas.

Conforme Souza (2012, comunicação pessoal), cabe a possibilidade de ter sido uma situação anômala causada por alguma maré meteorológica positiva, que teria entrado ao sistema antes da coleta de dados, pelo que esse valor deve ser tomado com ressalvas.

Valores entre 0,1 e 0,5 PSU são observados no ecótopos Manguezal (Mg) e seu ecótopo associado (cx_Mg/FPa). Em direção ao Norte, observa-se que a cunha salina penetra em algumas unidades de FaRu e FTr, com valores que atingem 0,5 PSU seguindo o azimute apresentado no diagrama de superfície.

Condutividade (K). A variação espacial da condutividade segue um padrão decrescente a partir das fozes dos rios. No subssistema Guaratuba segue um padrão similar à salinidade, inclusive no mesmo azimute (figura 56, anexo 3, pág 236), abrangendo os mesmos ecótopos registrados como afetados por essa variável.

O modelo esférico do semivariograma isotrópico indica uma anisotropia híbrida para as diferentes direções, sugerindo diferentes estruturas nos sistemas, que na prática estão representadas pelos diferentes ambientes sedimentares. Igualmente, o variograma de superfície sugere que os lençóis se correlacionam melhor nos 33° de azimute.

A frequência acumulada indica que a maioria dos valores está por baixo de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esses valores, como já se disse, correspondem à condutividade média da água de chuva e aos rios.

Conforme a tábua de classificação de risco de absorção de sódio e condutividade elétrica de águas subterrâneas, esse valor corresponde a um baixo risco de salinidade.

O subssistema Itaguareé apresenta lençóis que qualificam como água para irrigação, enquanto que no subssistema Guaratuba essa condição se dá à montante da foz do rio, não qualificando para tal as águas dos lençóis próximos às áreas urbanizadas.

Resistividade. Como era de esperar-se, nesta variável se apresenta uma correlação negativa a respeito da salinidade, sendo um bom indicador da área de influência da cunha salina, posto que, como já foi apresentado no anexo 2, não só leva em conta os sólidos orgânicos dissolvidos, mas também se relaciona com concentração total das substâncias ionizadas em solução.

O modelo exponencial do semivariograma isotrópico indica uma anisotropia híbrida para as diferentes direções, sugerindo, como nas outras variáveis já estudadas, diferentes estruturas nos sistemas, que na prática estão representadas pelos diferentes ambientes sedimentares (figura 57, anexo 3, pág. 236).

Por tanto, a extensão da baixa resistividade e os valores dispersos observados nos sistemas estuarinos, confirmam a extensão da intrusão da cunha salina, sendo essa intrusão, como já foi dito, maior no subssistema Guaratuba a respeito do Itaguapé.

Essa situação contrasta com a alta resistividade que se observa na fase fluvial do Rio Guaratuba, especialmente relacionado com seu afluente Rio Turvo, mesmo que corre paralelo ao condomínio Morada da Praia. Esse afluente tem seu percurso seguindo o limite do ecótopo FAL, localizado sobre depósitos aluviais pleistocênicos de altitudes maiores a 2,0 m.

Igualmente, essa alta resistividade se observa em todos os lençóis dos ecótopos ao Leste desse condomínio. Sendo que teoricamente se esperam valores entre 0,01 Ω m e 10 Ω m nos registros para lençóis freáticos, os valores observados nas áreas descritas (por cima de 23,3 Ω m e inclusive além de 40 Ω m), esses lençóis se consideram como de águas fracamente mineralizadas.

Vale a pena lembrar que perfis de resistividade, além de associarem-se camadas sedimentares e estruturas geológicas, também se relacionam com atividade de biodegradação.

Nesse sentido, cabe esperar uma atividade desse tipo muito similar nos dois subssistemas, porém bem mais estendido espacialmente no subssistema Guaratuba.

Sólidos dissolvidos totais (SDT). De acordo com a figura 58 (anexo 3, pág. 236), a variabilidade do SDT segue um modelo esférico e uma alta correlação espacial, conforme o coeficiente de regressão.

Conforme o variograma de superfície, os lençóis se correlacionam melhor nos 33° de azimute, mesmo observado para a salinidade.

Exceto nas áreas de influência da cunha salina nos subssistemas, os valores de SDT qualificam como de classe 2, apresentando uns intervalos que qualificam sua potabilidade entre boa e razoável.

Além do estuário exterior do subssistema, os valores apresentados na zona estuarina central e as frações dos ecótopos que influenciam (o setor Leste do ecótopo FaRu, alguns fragmentos isolados de FaR, e os fragmentos de FPa associados à área estuarina) qualificam a potabilidade como inaceitável, envolvendo o condomínio Costa do Sol mais próximo à foz do rio.

Temperatura. A variação espacial da temperatura ficou mais bem ajustada a um modelo exponencial do variograma. O coeficiente de regressão indica uma alta correlação espacial dos valores em todo o sistema.

Conforme o variograma de superfície, os lençóis se correlacionam melhor nos 54° de azimute (figura 59, anexo 3, pág. 237). Observa-se uma diferenciação na temperatura subsuperficial entre os dois subssistemas. Note-se que as temperaturas mais baixas apresentaram-se nos ecótopos influenciados pelo sistema estuarino do Rio Guaratuba, em uma ordem crescente em direção aos ecótopos influenciados pelo Rio Itaguapé.

Observe-se também o “ponto quente” gerado no interseção entre o rio Turvo (um dos afluentes do Rio Guaratuba) com o condomínio Morada da Praia, onde se localiza uma ponte, pelo que cabe inferir que o aumento do albedo a raiz da presença desse condomínio, afeta em alguma medida a temperatura do rio, e conseqüentemente, dos lençóis vizinhos.

Também se observa que os lençóis localizados sob FAL e FTr têm temperaturas menores, muito provavelmente porque são mais profundos, e ainda a cobertura vegetal é bem mais densa.

Surpreendentemente, as menores temperaturas do sistema se observaram no sistema estuarino Guaratuba, contando com que são áreas bem mais abertas que o interior da planície.

Isso seguramente está relacionado com a circulação vertical da água no sistema estuarino, que renova as camadas mais quentes, substituindo-as por outras de menor temperatura, diminuindo em geral a temperatura dos lençóis vizinhos.

Em geral se observa que a variação da temperatura em cada subssistema é dominada pelo sistema estuarino. Entretanto no subssistema Itaguapé a temperatura é decrescente na direção oposta à perpendicular e à montante da calha do rio, no subssistema Guaratuba se dá o oposto.

Ainda, observa-se uma área de transição entre os dois subssistemas, onde se apresentam as maiores temperaturas registradas para os lençóis, coincidindo novamente a presença de outro “ponto quente”, com o interseção entre uma estrada de terra e a calha de um afluente do Rio Itaguapé, sendo que, nesse ponto também se localiza uma ponte.

De qualquer forma, a variação da temperatura se dá em um *continuum* crescente desde o subssistema Guaratuba até uma área de transição com o subssistema Itaguapé, podendo um ecótopo qualquer apresentar uma gradiente de temperatura conforme sua distância a respeito do eixo do subssistema em que está incluso.

A oscilação da temperatura durante os meses de amostragem (agosto e outubro) foi entre 14°C e 25°C e entre 16 – 25°C respectivamente. Entretanto, durante a amostragem a temperatura do lençol oscilou entre 18 e 22°C, pelo que aparentemente a temperatura do lençol varia ao redor da média da temperatura atmosférica.

Isso indica uma menor oscilação da temperatura no lençol freático a respeito da temperatura atmosférica, o que garante certa estabilidade nas reações químicas nas variáveis dependentes da temperatura, tanto no pH, como no OD (em função direta ou em função à salinidade), a condutividade elétrica e ORP.

Cabe lembrar que a temperatura atmosférica oscila entre 14 - 21°C no mês mais frio (julho), e entre 20 e 28°C no mês mais quente (fevereiro). Na época de *déficit hídrico* (junho), a temperatura oscila no intervalo entre 14 – 22°C.

Assumindo que é válida a suposição de que temperatura no lençol varia em proporção à média da temperatura atmosférica, esperar-se-ia então que durante a limnofase (que coincide com os meses mais frios), ocorresse uma queda da temperatura média do lençol.

Na região é muito frequente a queda de árvores durante a temporada de chuvas, que deixa a disposição material vegetal, que, por sua própria natureza, é de caráter ácido, pelo que tem uma reação ácida na biodegradação.

No início da decomposição, ocorre à formação de ácidos orgânicos e ainda, incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano. Essa incorporação torna o meio mais ácido em relação ao inicial.

Oxigênio dissolvido (OD). Conforme a figura 60 (anexo 3, pág. 237), a variação espacial do OD ficou mais bem ajustada a um modelo esférico do variograma. O semivariograma sugere uma anisotropia híbrida, pelo que indica diferenças para esta variável nas diferentes estruturas.

O coeficiente de regressão indica aceitável correlação espacial dos valores em todo o sistema. Conforme o variograma de superfície, os lençóis se correlacionam melhor nos 12° de azimute.

Observa-se uma diferenciação no OD entre os dois subssistemas para seus respectivos lençóis. Note-se que há uma queda das concentrações de oxigênio na medida em que se afasta dos eixos dos respectivos subssistemas.

As concentrações mais baixas apresentaram-se nos ecótopos que se sabem influenciados pelos depósitos paleoestuarino-lagunares (Fpa e FaRu), em uma ordem decrescente em direção ao interior da planície.

Contudo, na área de influencia da cunha salina, e conforme aos valores da temperatura e salinidade, as concentrações de oxigênio estão um pouco por baixo do esperado para um meio saturado, exceto na área onde se apresentam os maiores valores ($>8,71$ ppm).

Em geral, o lençol freático da planície central apresenta valores de OD por baixo de 2,0 ppm, aumentando até valores acima de 5,0 ppm nos ecótopos próximos à área de influência da cunha salina, lembrando que valores acima dessa concentração se considerariam como altos.

Perante essas condições, sugere-se que nos ecótopos localizados na planície central apresentam condições de redução química, enquanto que nos ecótopos próximos à cunha salina e terraços aluviais, apresentar-se-iam condições de oxidação química dos minerais.

Assas condições foram evidenciadas em campo, encontrando-se frequentemente argila reduzida nos ecótopos da planície central, e solos com concreções de óxido de ferro no seu horizonte B nas áreas já mencionadas como zonas de oxidação de minerais.

Potencial redox (ORP). Conforme a figura 61 (anexo 3, pág. 237), a variação espacial do redox ficou mais bem ajustada a um modelo exponencial do variograma. O semivariograma sugere uma anisotropia híbrida, pelo que indica diferenças para esta variável nas diferentes estruturas.

O coeficiente de regressão indica uma aceitável correlação espacial dos valores em todo o sistema. Conforme o variograma de superfície, os lençóis se correlacionam melhor nos 351° de azimute.

O potencial redox do lençol freático se observou negativo na maior parte do sistema, salvo em alguns pontos sob FaR e FbR. Considerando os intervalos para as zonas de redox, o ambiente do lençol em todo o sistema encaixa na zona reduzida (< 0 mV), salvo os pequenos fragmentos dos ecótopos mencionados, onde encaixa na zona de descontinuidade (0-200 mV).

Como já foi mencionado, valores menores a $+ 0,3$ mv indicam escassez extrema de O_2 . Comparando visualmente ambos os mapas (ORP vs. OD), percebe-se que as concentrações de O_2 observadas não são suficientes para mitigar o ambiente redutor que se apresenta em todo o sistema.

Todavia, durante o trabalho de campo observou-se a presença de concreções ferruginosas nos perfis de alguns solos, sobretudo aqueles relacionados com solo espódico.

Normalmente se aceita que a origem de concreções ferruginosas nos solos é atribuível, de forma generalizada, às condições de variações sazonais do lençol freático (MOREIRA & OLIVEIRA, 2008).

Conforme esses autores, o lençol inicialmente elevado, propicia a redução do ferro com a sua retirada parcial do sistema, mobilizando-o, transportando-o e concentrando-o.

Posteriormente, na limnofase por oxidação ocorre a formação de plintitas, constituídas por mistura de argila pobre em C orgânico, mas rica em ferro e alumínio, que é segregada sob a forma de manchas vermelhas, que, com a retirada do lençol freático, apresentam endurecimento. Esse endurecimento cria as concreções ferruginosas ou petroplintitas.

Perante essa evidencia, e esclarecendo que os valores observados pertencem a dados tirados na potamofase, para a limnofase esperar-se-ia que, pelo menos nos ecótopos localizados sobre os terraços altos e baixos de origem pleistocênica, ocorra uma reversão das condições de redox. Já na análise de solos se entraria a fazer uma ampliação desse tema.

Embora não se tenham dados do redox para a limnofase, pela evidências indireta que oferece a presença de concreções ferruginosas e pelo conhecimento teórico que se tem de sua origem, é possível inferir que o pulso hidrossedimentológico condiciona o ambiente de redox no Sistema Bertioiga, sendo ele redutor na potamofase e oxidante na limnofase.

Potencial hidrogeniônico (pH). Conforme a figura 62 (anexo 3, pág. 238), a variação espacial do pH ficou mais bem ajustada a um modelo exponencial do variograma. O semivariograma sugere uma anisotropia zonal, que evidencia a presença de diferentes estruturas.

O coeficiente de regressão indica uma aceitável correlação espacial dos valores em todo o sistema. Conforme o variograma de superfície, os lençóis se correlacionam melhor nos 350° de azimute, praticamente o mesmo observado para o potencial redox.

O pH em todo o sistema é caracteristicamente ácido, sendo que o subssistema Itaguaré apresenta um pH mais ácido ainda que o Guaratuba. A área de pH mais baixo se localiza da planície central, correspondente ao ecótopos FaRu, FPa e FPan, e alguns fragmentos de FaR envolvidos pelo ecótopo FaRu.

Para o Norte, o pH aumenta um pouco nos ecótopos localizados na baixa encosta, entre eles, grandes fragmentos de FAL e FTr. Já na área de influência da cunha estuarina do Itaguapé, o pH, embora ácido, são mais altos do que na planície central. Valores

As áreas com valores mais próximos ao pH neutro se localizam na zona de influência da cunha salina, abrangendo a parte oriental do ecótopo FaRu localizado na planície central, e um fragmento desse ecótopo localizado ao Norte da área estuarina. Também abrange os manguezais, fragmentos de FTr localizados ao Norte da cunha, e os fragmentos de FAL vizinhos.

Fazendo uma comparação visual entre o mapa do pH e os mapas correspondentes ao OD e a condutividade, e, sobretudo salinidade, observa-se que há uma grande correspondência entre as áreas de maior pH e as áreas com os maiores valores dessas variáveis, enquanto que se dá uma relação inversa com a temperatura e a resistividade.

Considerando que as amostragens foram feitas na potamofase do pulso, cabe esperar algum tipo de situação inversa na limnofase, época em que, como já foi mencionado, junto com o aumento do pH (ou como consequência desse aumento), favorecessem-se as reações de redução, a queda do OD e o aumento da biodegradação da matéria orgânica e a digestão anaeróbia.

5.1.12. Resultados da contextualização espacial dos solos.

Nas figuras 63 e 64 se observa a disposição espacial dos solos no sistema Bertioga, correspondentes aos subssistemas Itaguapé e Guaratuba, em mapa confeccionado com base em técnicas geostatísticas (figura 63) e posteriormente convertido em mapa booleano (figura 64).

Cabe salientar que, embora de uma concepção aparentemente trivial, a transformação dos dados qualitativos em quantitativos foi significativa para a elaboração do mapa probabilístico refletiu bem as observações de campo.

Para efeitos de análise, foi superposto o contorno dos ambientes sedimentares (UQs) para efeitos explicativos da disposição espacial observada.

Conforme a análise anisotrópica de superfície, a variação dos solos apresenta uma orientação espacial de 16° de azimuth (vide enquadramento na figura 63). Seguindo a orientação do transporte de sedimentos, observa-se que os solos seguem uma orientação geral NNE-SSW, entre os 196° e 228,7° de azimuth.

Figura 63. Mapa probabilístico das áreas ocupadas pelos diferentes tipos de solos, incluindo os contornos dos ambientes sedimentares (destacados no enquadramento superior esquerdo) descritos para as bacias Itaguaí e Guaratuba. No enquadramento inferior direito se observa a orientação dos solos (16°) a respeito do azimute. Foi ressaltada com seta branca a orientação geral dos solos (NE-SW, entre os 196° e $228,7^\circ$ de azimute). Escala compatível: 1:50.000.

Figura 64. Mapa booleano dos tipos de solos considerados para este trabalho. Mapa confeccionado tomando como referência o mapa probabilístico e os ambientes sedimentares. Escala compatível: 1:50.000.

Essa orientação espacial observada é uma validação forte do modelo apresentado, considerando que as formações marinhas arenosas antecederam a sedimentação continental, e que tal sedimentação ocorreu na retaguarda de um feixe de Restinga mais antigo (ROSSI & QUEIROZ-NETO, 2001).

A superposição dos contornos das UQs permite visualizar tanto a sequência dos solos em cada unidade, como sua orientação particular. A sequência de solos observada, incluso em cada UQ, evidencia igualmente uma sequência de eventos a que foram objeto os depósitos sedimentares ao longo da sua história, como será descrito a continuação.

A Planície Frontal é dominada pelo Espodossolo Humilúvico (EH), correspondente na sua maior parte a terraços marinhos pleistocênicos (altos e baixos) e holocênicos.

Associado ao EH se observa o Neossolo Quartzarênico (NQa), que separa ao primeiro da linha de costa. Esse solo corresponde normalmente aos cordões litorâneos Holocênicos.

Destacam-se fragmentos de EH também na Planície Intermediária. Em conjunto, eles têm uma orientação NNE -SSW, aproximadamente entre os 16° e 48,7° de azimuth (seta preta), ou, seguindo o rumo do transporte dos sedimentos, 196° a 228,7° de azimuth, observando-se que entre mais próximos se encontrarem à Baixa encosta, eles se apresentam em menor número e tamanho.

Nessa mesma orientação acontece a variação lateral dos solos na Planície Intermediária em ambas as bacias. Apresenta-se uma sequência de que vai de solos menos evoluídos (neossolos, cambissolos) a mais evoluídos (gleissolos), quanto mais próximos à Planície Frontal.

Na Baixa Encosta seguindo a direção NE-SW, localizam-se solos residuais (Latossolo Amarelo -LA-) e transportados pouco evoluídos (Nessolos regolítico -NR- e Flúvico -NF-), e, na sequência, Cambissolo Flúvico (CF). Esse último inclusive ultrapassa a Baixa encosta e a Planície Distal Central, até chegar aos limites com a área estuarina do Guaratuba.

Observa-se na Planície Distal Central (C) e Oriental (E), o domínio do NF, e as áreas de transição com os Cambissolos, registradas por outros autores como depósitos mistos. Entretanto, na Planície Distal Ocidental (W) a paisagem está dominada pelo Espodossolo Ferrihumilúvico (EFh), residual e mais antigo.

Na porção mais para o Sul da Planície Distal Oriental ainda se observam depósitos mistos, mas esta vez pela associação entre CF e EFh. Esse último solo, de certa forma marca um limite entre os solos transportados pouco evoluídos registrados na Planície Distal e parte da Baixa Encosta, e os solos residuais da Planície Central.

Na planície Central se observam nas regiões mais influenciadas pelo sistema de braços e afluentes dos rios, a presença do EFh, e na sequência, Gleissolo Háplico (GH) e a respectiva área de transição entre eles (tr_EFh/GH).

Entretanto, nas regiões dominadas pelos depósitos paleoestuarino-lagunares há uma sequência Gleissolo Melânico (GM) – Organossolo Fíbrico (OF), e ainda, Org. Sáprico (OS) no subssistema Itaguaré e suas respectivas áreas de transição.

5.1.13. Resultados da relação entre os solos e os ecótopos.

Na figura 65 (anexo 3, pág. 238) se apresentam a disposição espacial dos solos (conforme ao levantamento feito com técnicas geostatísticas) a respeito da disposição dos ecótopos no sistema Bertioiga. A continuação se inferem de maneira descritiva, relações com a paisagem a respeito dessas duas variáveis.

A área estuarina do Guaratuba esta limitada pelo Espodossolo Ferrihumilúvico (EFh), tanto ao E como ao W e parte do Norte dessa unidade, onde limita majoritariamente com o Cambissolo Flúvico (CF) e a transição com EFh (tr_CF-EFh). Ao SW, localiza-se uma pequena área de transição entre EFh e Gleissolo Háplico (tr_EFh-GH).

Nessa área fronteira com o estuário, sobre EFh e CF se tem Floresta Paludosa (FPa), enquanto que sobre o primeiro também se observa parte Floresta Alta de Restinga Úmida (FaRu).

A área estuarina do Itaguaré, pelo contrário, observa-se mais encaixada pelo Espodossolo Humilúvico (EH) tanto ao SW como no E, observando-se também que os organossolos e gleissolos contornam o resto dessa área.

Na sequência, em toda a Planície Frontal o ecótopo Floresta Baixa de Restinga (FbR) se localiza sobre Neossolo Quartzarênico (NQa), e o ecótopo Floresta Alta de Restinga (FaR) sobre solos tipo EH. Logo na retaguarda seguem os ecótopos da Planície Intermediária, os quais estão divididos a maioria em grandes fragmentos.

Nessa planície destaca-se o ecótopo FaRu, mesmo que apresenta a maior diversidade solos. Esse ecótopo se encontra tanto em solos tipo CF, como em EFh, GH, Gleissolo Melânico (GM), e os organossolos Flúvico (OF) e Sáprico (OS), além de todas as áreas transicionais registradas entre eles. Observa-se que um ecótopo vizinho (Floresta Paludosa Antrópica – Fpan -), que como seu nome indica, é um ecótopo de origem antrópica, apresenta os mesmos tipos de solos, exceto os organossolos.

No ínterim, o ecótopo FPa prevalece sobre solos tipo GH e GM e nas áreas de transição entre esses dois tipos de solo, assim como também se observa sobre tr_EFh/GH.

O complexo conformado por Floresta Aluvial e a Floresta Alta de Restinga Úmida (cx_FAL/FaRu), que só se registra dentro do subssistema Guaratuba, apresenta a sequência de solos CF/(tr_CF/EFh)/EFh, no rumo E-W, mesma apresentada ao Sul do ecótopo FAL e ao SE da Floresta de Transição Restiga-encosta (FTr).

Entretanto, sob esses dois últimos ecótopos prevalecem os solos NF e tr_NF/CF. Enquanto isso, no Subssistema Itaguapé esses ecótopos se localizam majoritariamente sobre solos tipo EFh e tr_EFh/GH.

O complexo conformado por FaRu e FPa (cx_FaRu/FPa), que só se registra no Subssistema Itaguapé e que está limitado ao Sul pelo sistema estuarino, localiza-se majoritariamente sobre solos tipo EFh, incluindo alguns fragmentos localizados no rumo NW. Outros menores, localizados no rumo W, apresentam-se sobre tr_Efh/GH, e em estreitas faixas de GH, assim como em estreitas faixas de solos tipo tr_GH/GM.

Por fim, o ecótopo cx_FAL/FPan, de origem antrópica, apresenta as mesmas características de FAL, porém, são solos inundados por causa da barreira que impõe a presença do condomínio Morada da Praia, mesmo condomínio que atravessa as UQs praticamente desde a praia até nas proximidades do sopé da Serra.

5.1.14. Resultados sobre a análise físico-química dos solos.

Os resultados fazem referência à camada superficial do solo (não ao perfil do solo), entre 0-20 cm de profundidade, e fazem referência aos valores das variáveis químicas de coletas feitas na potamofase do pulso do sistema, pelo que não necessariamente reflete o estado do sistema na limnofase do pulso.

A primeira variável a ser analisada é o pH, sendo que seu comportamento depende igualmente o comportamento de outras variáveis (anexo 3, figura 66 a, b, c... r, págs. 239 até 243).

Seguindo os critérios de análise descritos, a camada superficial do sistema em geral é de acidez Extremamente Alta a Alta (anexo 3, figura 66, mapa “a”, pág. 239).

Em geral, a variação observada (28° de azimuth) e a distribuição dos teores, relacionam-se bem com as orientações dos eixos de declividade da planície, da rede de drenagem e da linha de costa.

Em relação ao comportamento do pH, observou-se uma baixa saturação por bases (V%) em ambos os subssistemas, observando-se também os menores valores nos ecótopos do subssistema Itaguapé, aumentando um pouco, mas ainda qualificando como baixo, em uma faixa estreita dos ecótopos FbR e FaR, no Subssistema Guaratuba (anexo 3, figura 66, “b” , pág. 239).

Em geral, a variação observada (31° de azimuth) e a distribuição dos teores, relacionam-se bem com as orientações dos eixos de declividade da planície, da rede de drenagem e da linha de costa.

A acidez potencial (H+Al, anexo 3, figura 66, “c” , pág. 239), apresentou valores muito altos na maior parte dos subssistemas, sendo que novamente os ecótopos do Subssistema Itaguapé os que apresentam os maiores valores.

Em geral, a variação observada (90° de azimuth) e a distribuição dos teores, relacionam-se bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não a orientação da linha de costa.

Os menores valores foram observados em parte dos fragmentos de FAL e FaR localizados na Planície Distal Oriental, mas que também qualificam como altos.

Os altos níveis de H⁺ trocável observados na camada superficial dos solos são compatíveis com o pH e com um abundante fornecimento de matéria orgânica ácida.

Essa alta toxidez por Al³⁺ na camada superficial se apresenta, sobretudo, em organossolos, gleissolos e ainda em alguns fragmentos de Espodossolo Humilúvico e Ferrihumilúvico, enquanto que não se apresenta nos Neossolos e na maior parte do Cambissolo Flúvico.

A respeito da saturação por Alumínio -m%- (anexo 3, figura 66, “d” , pág. 239), a orientação da variação observada (351° de azimuth) e a distribuição dos teores, relacionam-se bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, e da linha de costa.

Em grande parte do sistema foi encontrada uma saturação alta (>50%), correspondendo os valores médios (entre 30 e 50%) a baixos (<30%) à área Oriental e Norte do Subssistema Itaguapé, respectivamente.

Conforme os valores de V% (>50%), m% (>50%) e Al³⁺ trocável (>3mmol/dm³), a camada superficial desses solos apresentam caráter distrófico e álico.

A respeito da CTC efetiva (anexo 3, figura 66, “e”, pág. 240), a variação observada (90° de azimute) e a distribuição dos teores, relacionam-se bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não a orientação da linha de costa.

Contrário ao esperado, para esta variável se observaram valores que qualificam como altos ($>46 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$), na maior parte das Planícies Intermediária e Frontal Central e Ocidentais, especialmente nos ecótopos FaRu e FPa.

Desse resultado se infere que, dentro do sistema em geral, essas áreas têm o mais alto teor de matéria orgânica (MO) e a melhor capacidade de retenção de nutrientes e umidade, na camada superficial do solo.

Nas Planícies Orientais Intermediária e Frontal, os valores da CTC efetiva qualificam como baixos. Essas áreas incluem uma série de ecótopos na maioria interconectados (FAL, cx_FAL/FaRu FTR, FPa, e FaR + FbR conectados a FPa).

Enquanto à MO (anexo 3, figura 66, “f”, pág. 240), a variação observada (93° de azimute) é compatível com a orientação da CTC efetiva. A distribuição dos teores relaciona-se bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não a orientação da linha de costa.

Conforme os valores registrados, além do observado em relação com os valores de CTC, essa variável se apresenta em concentrações que em geral qualificam como média (entre 15 e $252 \text{ g}/\text{dm}^3$) aproximadamente em um 80% da área amostrada, incrementando-se seu teor conforme o descrito nos parágrafos anteriores, especificamente no ecótopo FPa na porção SW do Subssistema Itaguaré, e em pequenas manchas de FAL ao N do Subssistema Guaratuba.

A soma de Bases trocáveis -SB- (anexo 3, figura 66, “g”, pág. 240), variável que também registrou uma orientação espacial compatível com a CTC e MO, apresentou valores muito baixos ($6\text{-}18 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$) em parte dos ecótopos FaR, FbR, FAL e FTR do Subssistema Guaratuba, incrementando-se nos ecótopos FAL e FTR em direção à Planície Intermediária Central.

A capacidade de troca de cátions potencial do solo -T- (anexo 3, figura 66, “h”, pág. 240), variável que também registrou uma orientação espacial compatível com a CTC efetiva, MO e SB.

Ainda os menores valores observados para esta variável qualificam entre altos e muito altos, e se distribuem espacialmente pelos ecótopos da Planície Oriental do sistema. Os

valores vão aumentando no rumo W, quer dizer, em direção aos ecótopos da Planície Central, e diminuindo um pouco na Planície Ocidental.

Em relação à avaliação dos teores de macro e micronutrientes, a variação espacial do teor de fósforo disponível (P, anexo 3, figura 66, “i”, pág. 241), encontra-se orientada aos 134° de azimuth, apresentando uma distribuição que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não com a orientação da linha de costa.

Nesse contexto, essa variável se observou em concentrações entre muito baixas e baixas na maior parte do Subssistema Guaratuba, sobretudo no ecótopo FAL e parte de FTR, onde os teores se encontram a um nível crítico. Esses resultados são compatíveis com os valores de pH observados.

Todavia, contrário ao esperado, observaram-se altos teores de P nos ecótopos que se localizam na área paleoestuarina-lagunar, na Planície Central, onde se localizam remanescentes do ecótopo FaRu. Em geral, o Subssistema Itaguapé apresenta maiores teores de P que o subssistema Guaratuba.

Por sua parte, o Subssistema Guaratuba apresenta os teores de P mais críticos, em especial todo o setor central e oriental, onde os teores por baixo de 9 mg/dm³.

Comparando esses resultados com os registros do pH, esses resultados são contraditórios com a teoria, posto que se observam os maiores teores justamente nas nos ecótopos com camadas mais ácidas.

A variação espacial do teor de Fe (anexo 3, figura 66, “j”, pág. 241), observou-se seguindo aproximadamente a mesma orientação do P (133° de azimuth). Essa variável apresenta uma variação espacial do seu teor similar à apresentada pelo P no Subssistema Guaratuba e na área de transição para o Subssistema Itaguapé, mas não na zona de influência da área estuarina desse subssistema.

Conforme o sistema de qualificação adotado, a disponibilidade do Fe observada qualifica como Média - Alta nos ecótopos FaR, FbR, FAL, cx_FaRu/FPa, e FPa do Subssistema Guaratuba.

Nesse mesmo subssistema, os teores aumentam a valores muito altos (>45 mg/dm³) nos ecótopos FTR e FAL da Planície Central Distal, enquanto que na Planície Intermediária Central, nos ecótopos Faru e nos fragmentos de FaR vizinhos, observaram-se os maiores

teores de Fe em todo o sistema, diminuindo, mas ainda conservando-se altos, nos ecótopos do Subssistema Itaguapé.

A variação espacial do teor de Ca^{2+} (anexo 3, figura 66, “k”, pág. 241), orientado aos 90° de azimute, apresenta uma distribuição espacial que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não a orientação da linha de costa.

Para essa variável se observaram valores que qualificam como baixos, nos ecótopos FaR, FbR, cx_FAL/FaRu, FaRu e FPa localizados na Planície Oriental, aumentando para valores médios no ecótopo FPa vizinho da área estuarina.

Os teores aumentam inusitadamente para valores altos em toda a Planície Central e Ocidental, diminuindo novamente para concentrações médias e baixas no ecótopo FaR e FbR localizados no canto SW do Subssistema Itaguapé.

A variação espacial do teor de Mg^{2+} (anexo 3, figura 66, “l”, pág. 241), orientado aos 135° de azimute, tal como o observado na anterior variável, apresenta uma distribuição espacial que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não a orientação da linha de costa.

Essa variável apresenta valores muito baixos a baixos na maior parte dos ecótopos da Planície Oriental, aumentando para valores médios nos ecótopos FAL e FTR da Planície Central Distal, e valores altos nos ecótopos FaRu e Far da Planície Central Intermediária e Frontal.

Os teores caem de novo para valores médios em todos os ecótopos da Planície Ocidental, observando-se os menores valores nos ecótopos FPa da Planície Intermediária ocidental.

A distribuição espacial do teor de Boro (anexo 3, figura 66, “m”, pág. 242), orientado aos 32° de azimute, apresenta uma distribuição espacial que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, e com a orientação da linha de costa.

Essa variável apresentou teores com valores baixos na Planície Oriental do Subssistema Guaratuba, exceto na Planície Oriental Frontal, onde aumenta para valores médios nos ecótopos FaR, e aumenta para valores altos no ecótopo FbR. Esses teores caem novamente para valores médios, com algumas manchas de teores baixos na Planície Central e Ocidental.

A distribuição espacial do teor de potássio (anexo 3, figura 66, “n”, pág. 242), orientados aos 90° de azimute, apresenta uma distribuição espacial do seu teor que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, e aparentemente não muito bem a respeito da orientação da linha de costa.

Para essa variável se observaram valores entre muito baixos e baixos em todo o sistema, exceto na Planície Distal Ocidental do Subssistema Itaguapé, onde aumenta o teor para valores altos e inclusive muito altos nos ecótopo FAL e FTr.

Ainda que no Subssistema Guaratuba os valores registrados no teor sejam baixos, esses dois ecótopos se distinguem por ter o maior teor dentro dos ecótopos desse subssistema, pelo que a variabilidade observada reflete tanto a origem do elemento, como os fatores que influenciam sua distribuição.

A variação espacial do teor de Al^{+3} (anexo 3, figura 66, “o”, pág. 242), apresenta-se orientado aos 85° de azimute, variação que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, mas não com a orientação da linha de costa.

Para essa variável se observaram valores altos em todo o Subssistema Itaguapé e na Planície Distal e Intermediária Oriental do Subssistema Guaratuba. Nesse último subssistema, o teor cai para valores médios na zona de influência da área estuarina, a partir da porção Sul do ecótopo FTr localizado à montante de cx_FAL/FaRu, e no ecótopo cx_FAL/FaRu. Os valores continuam a cair à jusante, observando-se valores baixos no ecótopo Fbr e em um fragmento de FPa vizinho à área estuarina.

A distribuição espacial do teor de Mn (anexo 3, figura 66, “p”, pág. 242), observa-se orientada aos 30° de azimute. Apresenta uma distribuição espacial do seu teor que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem e com a orientação da linha de costa.

Conforme aos valores de referência, o teor dessa variável se apresenta entre muito baixo a baixo em todo o sistema, exceto em alguns fragmentos de FAL e FTr na Baixa Encosta Central.

Os menores valores se relacionam com os ecótopos da Planície Oriental, aumentando um pouco nos ecótopos da Planície Central Intermediária, atingindo valores médios na Planície Central Distal, e valores altos na Baixa Encosta. Em geral, o Subssistema Itaguapé apresenta teores um pouco mais altos que no Guaratuba.

A variabilidade espacial do teor de Zn (anexo 3, figura 66, “q”, pág. 243), orientado aos 355° de azimuth, apresenta uma distribuição espacial se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, e com a orientação da linha de costa.

Conforme aos valores de referência, o teor dessa variável no Subssistema Guaratuba se apresenta com valores muito baixos em grande parte do subssistema, aumentando para valores baixos em alguns fragmentos de FPa e FaR na Planície Interna Oriental, nas áreas vizinhas à zona estuarina.

O teor aumenta para valores médios nos ecótopos da Planície Central Distal, Interna e Frontal, atingindo valores muito altos, justo na divisória entre os subssistemas, mesmo que mantêm nos seus ecótopos os valores mais altos de todo o sistema, especialmente na Planície Ocidental Distal e, sobretudo, na Baixa Encosta Ocidental.

Por último, variação espacial do teor de SSO^{2-}_4 (anexo 3, figura 66, “r”, pág. 243), orientado aos 32° de azimuth, apresenta uma distribuição espacial que se relaciona bem com as orientações dos eixos de declividade da planície e da rede de drenagem, e com a orientação da linha de costa.

Conforme aos valores de referência, o teor dessa variável atinge valores muito altos na Planície Oriental e o canto Leste da Planície Central, diminuindo um pouco, mas ainda para valores altos, na Planície Central Intermediária e Frontal, caindo para valores médios no Subssistema Itaguaré.

Observa-se que, curiosamente, embora o Subssistema Guaratuba apresente as mais altas concentrações de SSO^{2-}_4 , há um fragmento de FaR nesse Subssistema que apresenta os valores mais baixos desse macronutriente.

5.1.15. Estabilidade da estrutura superficial do solo

Na tabela 20 se apresentam os resultados da aplicação da estatística descritiva. De acordo com a escala de Folk (1957), a estrutura superficial dos solos da região apresenta uma tendência “Assimétrica no sentido dos finos”, com valores muito próximos a uma tendência “Fortemente assimétrica no sentido dos finos”.

Esses resultados indicam de entrada que a estrutura superficial é afetada por uma baixa permeabilidade e uma baixa estabilidade, podendo ser também afetada por condições hidráulicas adversas. Além disso, a compactação é facilitada.

Agora, o passo seguinte foi aplicar a técnica geostatística para determinar a variabilidade espacial de dita tendência.

Comprovada a dependência espacial das variáveis utilizadas, realizaram-se as interpolações para estimar os valores locais não medidos, com posterior construção de dos mapas.

Os resultados indicam que todos os atributos tiveram pelo menos de média a alta dependência espacial (Tabela 20). De acordo com essa tabela, as frações granulométricas Silte Muito Fino, Silte Médio e Areia muito grossa mostram uma alta dependência espacial (IDE), com bons ajustes em análise isotrópica.

Por outro lado, ao analisar a anisotropia, apresentou-se maior número de frações granulométricas com alto IDE, incluindo argila, Silte Grosso, Areia Fina, Areia grossa e muito grossa (Tabela 21).

Estatístico	Sem transformação	Transformada
Média	0.2450	0.460
Desvio padrão	0.2389	0.319
Mínimo	0.0571	0.1015
Máximo	- 0.100	0.00
n (n excluídos)	0.650	1.00
Distribuição da frequência	44 (1)	44 (1)
Assimetria (se)	0.28 (0.36)	0.28 (0.36)
Curtose (se)	- 1.34	- 1.34

Tabela 20- Estatística descritiva da fração granulométrica superficial (0-20cm) das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba.

Variável	Análise	Modelo	Co	Co+C	A ₀	Classe dos parâmetros		Casse Efectiva		Proporção [C/(Co+C)]	r ²	RSS
						A ₁	A ₂	Mayor	Menor			
Argila	Isotrópico	Esférico	6,25	18.39	250.00	-	-	300.00	-	0.66	0.79	46.10
	Anisotrópico	Esférico	0.01	22.75	-	287.80	187.80	287.80	187.80	1.00	0.79	707.25
Silte Muito fino	Isotrópico	Esférico	6.25	18.39	250.00	-	-	250.00	-	0.66	0.79	46.10
	Anisotrópico	Exponencial	17.15	40.45	-	21200.00	20830.00	63600.00	62490.00	0.58	0.18	482.11
Silte fino	Isotrópico	Exponencial	17.06	34.13	13850.00	-	-	41550.00	-	0.50	0.19	120.00
	Anisotrópico	Exponencial	43.19	106.24	-	17800	17490	53400.00	52470.00	0.59	0.16	5280.13
Silte médio	Isotrópico	Exponencial	38.50	216.50	17910.00	-	-	53730.00	-	0.82	0.60	4315.00
	Anisotrópico	Linear	42.10	134.27	-	12450.00	12320.00	12450.00	12320.00	0.69	0.43	8807.00
Silte grosso	Isotrópico	Exponencial	25.10	88.79	1230.00	-	-	3690.00	-	0.72	0.50	3264.00
	Anisotrópico	Exponencial	30.10	119.48	-	4667.00	4546.00	14001.00	13638.00	0.75	0.46	14022.29
Areia Muito Fina	Isotrópico	Exponencial	25.10	88.79	1230.00	-	-	3690.00	-	0.72	0.50	3264.00
	Anisotrópico	Exponencial	12.34	52.55	-	896.60	828.90	2689.80	2486.70	0.77	0.69	1789.88
areia Fina	Isotrópico	Esférico	16.52	40.86	1380.00	-	-	1380.00	-	0.60	0.71	248.00
	Anisotrópico	Exponencial	494.50	1351.49	-	9990.00	9911.00	29970.00	29733.00	0.63	0.43	618959.55
Areia Média	Isotrópico	Exponencial	438.00	876.10	1110.00	-	-	0.50	-	0.50	0.50	144775.00
	Anisotrópico	Linear	7.15	32.30	-	29550.00	28740.00	29550.00	28740.00	0.78	0.05	1568.24
Areia Grossa	Isotrópico	Esférico	7.11	14.23	11530.00	-	-	11530.00	-	0.50	0.05	392.00
	Anisotrópico	Esférico	0.03	1.20	-	2452.00	2399.00	2452.00	2399.00	0.98	0.82	0.99
Areia Muito Grossa	Isotrópico	Esférico	0.04	1.18	2380.00	-	-	2380.00	-	0.97	0.82	0.25
	Anisotrópico	Esférico	0.00	0.14	-	2239.00	2279.00	2239.00	2279.00	0.99	0.82	0.01

Tabela 21- Valores dos componentes dos semivariogramas para os atributos estudados.

A partir desses resultados, foram construídos os mapas para inferir padrões de superfície e a estrutura espacial dos atributos de interesse (anexo 3, Figura 67, págs. 243-244).

A esse respeito, nota-se que para a fração de argila tem uma variabilidade máxima a partir dos terraços aluviais na direção NE-SW, com a mais alta expressão observada em cx_FaR/Faru, que espacialmente recebe e acumula material de escoamento e outros fatores de erosão que existem atualmente nos terraços vizinhos a esse biótopo.

Como é sabido, uma das características da argila é seu poder impermeabilizante, mas também sua susceptibilidade à erosão hídrica, entanto que na areia a condição é inversa.

Por outro lado, a capacidade de retenção de água e conteúdo de água disponível para as plantas, são propriedades do solo que estão fortemente relacionadas com a textura e como ela varia espacialmente (Pontelli, 2006).

O silte, que é um pó como a argila, mas sem coesão ou plasticidade apreciável e enlameado quando o terreno molhado, e empoeirado quando seco, causa que o solo exposto seja muito suscetível à erosão e desagregação natural.

Essas características da argila explicam o alto tempo de retenção da água ao nível superficial, condição que também influenciam a estrutura e composição da floresta. Ao mesmo tempo, afirma que provavelmente há uma elevada vulnerabilidade de terra à erosão hídrica, que é mitigada quando a vegetação está presente.

Isto se verifica quando se observa a direção que mostra a variação da concentração da fração granulométrica, que cresce no mesmo sentido que segue o leito do rio Guaratuba para sua foz. Note-se que a inclinação diminui também a este respeito.

Já no rio Itaguaré, onde o declive é menor, esta fração tem uma concentração mais baixa e homogênea (isotrópica).

Como esperado, um padrão mais ou menos inverso ocorre quando a fração for analisada para Silte Grosso. Esta fração mantém um foco maior sobre áreas dominadas por florestas tipo Faru.

A alta concentração dessa fração é observada em uma planície de inundação com este tipo de floresta, caracterizada por ser completamente cercada pelos leitos dos dois rios.

É evidente a prevalência de Areia Muito Fina na estrutura de superfície dos terraços e planícies aluviais altas e planícies sedimentares, especialmente da região NE, que apresenta um aumento dos teores na direção NE-SW, rumo às planícies de maré de origem Holocênico,

para dar origem a biótopos como FAR e FTR de um lado, e mangue do outro. Esta aparente discrepância entre os tipos de floresta é explicado pela origem diferente dos depósitos.

Finalmente, também é evidente o caráter fortemente anisotrópico das frações Areia Grossa e Muito Grossa concentrando-se nos leques fluviais, nas rampas de baixo declive no sopé da montanha e os terraços elevados aluviais e coluviais, refletindo os esporádicos eventos erosivos súbitos, que afetam às florestas tipo FTR e FAL, relacionados a eventos hídricos extremos, também esporádicos (inundação súbita ou colapso de terra nos anfiteatros que limitam a planície).

A partir desses resultados, conclui-se que, para qualquer caso, as áreas que apresentam um comportamento anisotrópico significativo da fração granulométrica superficial, estão associados com um aumento da vulnerabilidade da textura frente a processos de erosão ou desagregantes.

Por outro lado, com base em observações de campo e resultados obtidos, conclui-se que nas florestas onde predominam naturalmente na estrutura superficial argilas e siltes, têm um melhor desenvolvimento de sua estrutura e composição.

Índice de estabilidade da estrutura da superfície do solo

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 22. Note-se que nenhum dos casos cumpre os requisitos mínimos para considerar os solos com estrutura de superfície estável, quando medido pelo ISP_i .

Uma análise dos resultados obtidos para a Floresta Paludosa Antrópica, que tem um valor relativamente elevado de ISP_i (incluindo o maior valor de SP_i), ressalta que inclusive obras de pequeno porte podem ser causa de grandes impactos.

Com base nesses resultados, podemos dizer com bastante certeza que esta área foi originalmente ocupada por uma floresta úmida da Restinga (Faru). Neste caso, a presença de uma estrada de terra age como uma barreira ao livre fluxo de material particulado, acumulando argilas, que por sua vez contribuem para o acúmulo de água, simplificando a estrutura e composição da floresta.

Biotopo	Media % arcilla	Media% (Σ limos)	Media % (Σ arenas)	IDE			Media*IDE		ISP _i
				Arcilla	Σ limos	Σ arenas	(Σ limos)	(Σ arenas)	
FbR	2.56	14.69	82.87	1.00	0.65	0.83	9.59	68.78	0.03
FaR	3.54	23.43	73.24	1.00	0.65	0.83	15.29	60.79	0.05
FTr	7.85	36.56	56.43	1.00	0.65	0.83	23.86	46.84	0.11
FAL	8.26	44.83	47.66	1.00	0.65	0.83	29.25	39.56	0.12
Cx-FaR/FaRu	8.30	54.18	38.34	1.00	0.65	0.83	35.35	31.82	0.12
FPan	10.39	63.55	27.08	1.00	0.65	0.83	41.47	22.48	0.16
FaRu	8.00	75.35	17.24	1.00	0.65	0.83	49.16	14.31	0.13

Tabela 22- Índice de separabilidade das partículas (modificado) para os biótopos estudados.

Em conclusão, através da análise geostadística foi possível determinar a variabilidade da estrutura da superfície do solo da área de estudo em função dos biótopos. Os resultados indicam uma dependência espacial significativa entre os biótopos e a variabilidade das frações granulométricas.

5.1.16. Quantificação da extensão percentual da transformação das UQS em TGFs e qualificação da alteração da paisagem.

A área de estudo considerada compreende um total de 64051,33 hectares (640 Km² aproximadamente, considerando não dios mas sim as três bacias do município). Na tabela 23 se apresenta o tamanho das UQ's e a extensão das TGF's quando presentes, além dos valores da alteração da paisagem. Na figura 68 (anexo 3, pág. 244) se apresenta o mapa resultante da sobreposição das UQ's com as TGF's. Observou-se que, das 15 UQ's, seis (6) sofreram perda da sua extensão, em favor das TGF's.

A partir daí, foi avaliada a alteração da paisagem com base na fragilidade dos remanescentes das UQ's, de acordo com uma adaptação do coeficiente da alteração da superfície da paisagem (SF). A qualidade ambiental foi qualificada tanto em relação à paisagem em geral, quanto às UQ's.

UQ/TGF	Area (hec)	AT-UQ (hec)	%Area	%perda UQ	K _i	(S _{ai} x K _i)	S _i *K _i	SF (UQ's)
Pr	796,62	796,62	2,85	0,00	0,20	0,00	159,32	0,00
LOLb	910,95	910,95	3,26	0,00	0,20	0,00	182,19	0,00
LOLa	788,00	788,00	2,82	0,00	0,20	0,00	157,60	0,00
LHF	1636,57	1713,75	6,12	4,50	0,20	15,44	342,75	0,90
TGF-LHF	77,18		0,00					
LMP	2031,52	2031,52	7,26	0,00	0,20	0,00	406,30	0,00
LCD	725,09	751,89	2,69	3,56	0,20	5,36	150,38	0,71
TGF-LCD	26,80		0,00					
LHTb	138,00	1172,43	4,19	88,23	1,00	1034,43	1172,43	88,23
TGF-LHTb	1034,43		0,00					
LHTa	1139,63	2708,76	9,68	57,93	0,90	1412,22	2437,88	52,14
TGF-LHTa	1569,13		0,00					
LPTb	1976,97	3630,06	12,97	45,54	0,80	1322,48	2904,05	36,43
TGF-LPTb	1653,10		0,00					
LPTa	1141,02	1141,02	4,08	0,00	0,20	0,00	228,20	0,00
LPFb	2217,82	2217,82	7,93	0,00	0,20	0,00	443,56	0,00
LPFa	1721,32	1721,32	6,15	0,00	0,20	0,00	344,26	0,00
cx LCD/LHF	737,88	780,78	2,79	5,49	0,40	17,16	312,31	2,20
TGF- cx LCD/LHF	42,90		0,00					
LCRb	416,19	416,19	1,49	0,00	0,20	0,00	83,24	0,00
LCRa	7200,61	7200,61	25,73	0,00	0,20	0,00	1440,12	0,00
Σ áreas das UQ's				27981,72	Σ	3807,08	10764,61	0,00
SF da paisagem regional								35,37

Tabela 23- Tamanho das UQ's e TGF's (em hectares) e valores de alteração da paisagem (SF) obtidas a partir da relação percentual que apresentaram as TGF's.

Ao qualificar as UQ's de maneira independente, resulta evidente o estado de conservação depauperado das unidades LHTb (SF = 88,23%) e LHTa (SF = 52,14%), e o estado de fragilidade “muito fraco” da unidade LPTb (SF = 36,43%), enquanto que nas outras unidades não houve alterações que possam ser consideradas significativas. Note-se que estas três unidades em conjunto ocupam o 26% da área total estudada, e 37% da planície costeira.

Para a paisagem em geral os resultados apresentados na tabela 23 sugerem que o impacto da transformação dos ambientes sedimentares em TGF's tem sido muito alto, cujas condições de qualidade ambiental são qualificadas em termos de fragilidade como “muito fraca”, podendo-se deslocar para um estado depauperado se não fossem tomadas as medidas necessárias para a conservação da estrutura das UQ's.

Estas estimativas devem ser aceitas como um indicador altamente significativo do estado de conservação das UQ's, e servirão de base de análise de outros componentes importantes dentro de uma avaliação regional integrada, tais como vegetação, fauna e recursos hídricos.

O teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov mostrou-se significativo, pelo qual se conclui que as diferenças observadas são atribuíveis com toda certeza à transformação das

UQ's (tabela 24). Em outras palavras, as diferenças observadas não são devidas a desvios aleatórios em nenhum dos casos.

UQ	N	Média	Confiança (-95%)	Confiança (+95%)	Min.	Max.	σ	Desv. padrão	Standard
LHF	1675156	1184,81	1184,81	2165,50	1636565	1713747	2979	54576	38,5909
LCD	738491	568,22	568,22	908,76	725090	751891	359	18951	13,4002
LHTb	655218	-5916,60	-5916,60	7227,03	138005	1172431	535019	731450	517,2131
LHTa	1924191	-8044,65	-8044,65	11893,03	1139627	2708756	1231083	1109542	784,5647
LPTb	2803515	-7698,79	-7698,79	13305,82	1976965	3630064	1366367	1168917	826,5491
cx LCD/LHF	759330	486,79	486,79	1031,87	737881	780780	920	30334	21,4490

Tabela 24- Estatística descritiva das frequências das UQ's, de acordo com a sua distribuição original vs. atual. Para todas as categorias: K-S d=,26025, p> .20; Lilliefors p> .20.

Para calcular o grau de significância das diferenças observadas, foi aplicado o teste Qui-Quadrado (X^2) entre as frequências observadas e esperadas das áreas com alguma intervenção (tabela 25).

UQ	observado	esperado	O - E	(O-E)**2
LHF	1636565	1713,75	-77,18	3476
LCD	725090	751,89	-26,80	955
LHTb	138005	1172,43	-1034,43	912666
LHTa	1139627	2708,76	-1569,13	908966
LPTb	1976965	3630,06	-1653,10	752806
cx LCD/LHF	737881	780,78	-42,90	2357
Sum	6354134	10757,67	-4403,53	2581226

Tabela 25- Frequências observadas vs. esperadas das UQ's transformadas em tecno-geoformas. $X^2 = 2581,226$ g.l = 5 p < 0,00.

Os valores de X^2 da tabela 25 indicam que as diferenças entre a área que deveriam ocupar e a observada, são altamente significativas ($P \leq 0.01$). No diagrama de caixa (figura 69) pode-se apreciar a magnitude da transformação dessas UQ's.

Figura 69. Box & Whisker Plot das médias, mínimos e máximos das frequências observadas nas UQs.

5.1.17. Agrupamento das geoformas e tecnogeoformas

A análise cluster indicam a presença de pelo menos quatro grupos diferentes de geoformas/tecno-geoformas, quem se pode dividir a sua vez em subgrupos dependendo da distância da ligação (figura 69).

Figura 70. Dendrograma do agrupamento das geoformas/tecno-geoformas sob regra de ligação completa e medida de distância 1-Pearson r. O critério de decisão é: 0,3 – 0,0 forte correlação; 0,7 – 0,3 correlação moderada; 1,0 – 0,7 Fraca correlação; 2,0 – 1,0 Não correlacionada

Dentro do primeiro grupo, observa-se uma forte correlação na densidade da cobertura vegetal entre os depósitos de encosta baixos -pleistocênicos a atuais- (LCRb), os terraços aluviais altos pleistocênicos (LPFa) e os depósitos mistos -fluvio-coluviais- holocênicos a atuais (LMP), com destaque na correlação entre os dois últimos. Existe uma correlação fraca entre este subgrupo e os depósitos de encosta altos (LCRa).

No segundo grupo, observa-se um subgrupo de alta similaridade na cobertura vegetal, formado pelos terraços marinhos altos (LPTa) e baixos (LPTb) pleistocênicos e os terraços fluviais baixos (LPFb).

Essas UQs formam um grupo de correlação moderada com o subgrupo formado pelos terraços marinhos holocênicos (LHTa), as paleolagunas (LCD), os depósitos fluviais (LHF), e o complexo formado por LHF e as paleolagunas holocênicas a atuais (cx-LCD\LHF).

5.2.DISSCUSSÃO

5.2.1. Refinamento dos ambientes sedimentares.

Segundo os resultados, é evidente que padrão observado apresenta uma agregação definida, e que tal distribuição pode ser associada a causas mensuráveis. Nesse sentido, a combinação de variáveis geomorfométricas tais como a Forma do Terreno e Altitude foram essenciais na hora de interpretar tais imagens.

As outras variáveis jogam um papel importante só na medida em que fossem combinadas com aquelas. Todavia, um passo importante seria dado com a avaliação de vetores, onde tal vez, variáveis como Divisores e Talvegues, e outras combinações possíveis, adquiram aí sim um maior valor relativo.

As imagens de radar SRTM resultaram adequadas para o refinamento dos ambientes sedimentares da planície costeira e baixa encosta da área de estudo, fornecendo uma informação, tanto para confirmar a presença e localização de ditos ambientes, como ao referente dos limites reais dessas UQs.

A partir dessa informação, foi possível uma quantificação mais exata de outras variáveis importantes como o tamanho das UQs, os efeitos das atividades humanas, e a relação entre o substrato e a vegetação. Tais temas serão abordados nos capítulos seguintes.

Como produto deste refinamento e baseados nos últimos trabalhos de campo, puderam ser individualizados os remanescentes de LPTa achados dentro do antigo Cx-LPTa/LCD.

Ao tempo, evidências de planícies de inundação, terraços fluviais baixos entrelaçados com áreas de depósitos paleoestuarino-lagunares holocênicos, sugerem que a presença de um complexo formado por LPTb/e LCD (cx-LPTb/LCD) nas áreas LCD do antigo complexo LPTa/LCD. Possivelmente essas unidades poderão ser diferenciadas com base em futuras avaliações desta área de trabalho. Por enquanto, a partir desse refinamento foi desenvolvida a avaliação ambiental do território, objetivo desta pesquisa.

5.2.2. Proposta de classificação de grupos funcionais de vegetação com base no ndvi relativo.

Os resultados expressam uma abordagem preliminar sobre a aplicação do NDVI relativo para a cobertura vegetal da região. Contudo, expressam uma boa orientação para explicar de maneira sintética, diversas observações de campo e conceitos emitidos por

diferentes autores, incluindo temas variados como geologia, geomorfologia, clima, hidrologia, estrutura e diversidade biológica, fitossociologia, pedologia, etc.

Exceto as coberturas vegetais “classe 1”, não houve diferenças significativas entre os valores percentis observados e os esperados para os outros grupos funcionais propostos.

Do ponto de vista ecológico, em uma floresta clímax típica, esperar-se-ia a prevalência dos grupos funcionais superiores (6, 7, 8), quando medidos em função da densidade e porte arbóreo. Ambientes sem prevalência significativa nas classes de cobertura vegetal (em termos de densidade e porte do dossel, reitera-se), podem ser esperados em florestas secundárias.

Em outras palavras, os maciços florestais de Bertioga, se fossem típicos, seriam considerados ambientes em um estado climácico semelhante aos esperados numa floresta secundária tardia.

Contudo, ao acrescentar outros fatores não tratados aqui, esse argumento não resulta suficiente para explicar os resultados. Sabe-se que existem fatores limitantes, tanto naturais quanto antrópicos, para o crescimento/manutenção de vegetação arbórea de grande porte na região, que não permitem uma classificação típica dos maciços florestais estudados.

Os fatores limitantes naturais que condicionam a vegetação na região relacionam-se de uma maneira bastante complexa, tais como a heterogeneidade de ambientes sedimentares, funcionamento hidráulico, condições climáticas locais, geomorfologia regional e ainda os efeitos imediatos e mediatos, pela limitação espacial que impõem a Serra do Mar e o oceano.

Além disso, existe uma série de limitantes impostas pela artificialização do espaço, que contribuem de maneira direta ou indireta aos resultados obtidos, alguns muito evidentes, como o efeito dos empreendimentos imobiliários e o efeito da estrada Rio-Santos, e outros nem tanto como os grandes impactos causados por pequenas obras (por exemplo, estradas de terra que cortam o fluxo normal de água).

Para serem entendidas, essas relações devem ser abordadas de maneira holística, de forma tal que permita distinguir entre a resposta da vegetação às condições e fenômenos naturais, e a resposta da vegetação aos impactos que acontecem pelas obras e presença humana.

A aplicação do NDVI relativo ofereceu resultados satisfatórios para propor uma eventual classificação sincrética dos ambientes estudados. Para isso, serão comparados em posteriores estudos o NDVI relativo de cenas que ofereçam informação sazonal e temporal, e

os resultados obtidos com outros índices e modelos de simulação ambiental (WDVI, sedimentação, escoamento superficial de águas, processos markovianos, etc.).

5.2.3. Origem da floresta paludosa antrópica ao interior da planície costeira.

Na área de estudo são mais ou menos claros os impactos causados pela construção de empreendimentos urbanos sobre os maciços florestais do sistema. Alguns empreendimentos, como Morada da Praia, barram o livre fluxo das águas do Rio Guaratuba, ocasionando a formação de Floresta Paludosa Antrópica de maneira muito evidente. Mas por outro lado, tem outros tipos de interferências mais difíceis de encher e avaliar. A continuação se propõe uma hipótese de trabalho a respeito da origem da Floresta Paludosa Antrópica observada no interior da Planície costeira de Bertioga.

Um dos maiores problemas que afetam a qualquer meio natural tem a ver com a maneira em que muitas vezes o homem constrói as vias de acesso ou deslocamento de qualquer índole (automotivo, insumos energéticos, água, etc), constituindo-se em uma fonte de impacto permanente a esse meio, seja que estivessem ativas ou abandonadas. Esse é caso das vias de acesso que se observam na região de estudo, cujo impacto se descreve a continuação brevemente, sendo que sua abordagem precisaria uma pesquisa particular.

Essas estradas de terra ainda em uso (anexo 3, figura 71, pág. 245), e outras abandonadas já cobertas pela vegetação (anexo 3, figura 72, pág. 245), atuam como muros que barram o fluxo lateral normal da água, ocasionando um acúmulo e maior permanência da água à montante, e retardo no depósito da água à jusante do sistema. (foto “b”, anexo 3, figura 71).

A planície ainda é cortada ao sul pelo oleoduto, e, mais importante ainda, pela via Rio-Santos (Br 101). As tubulações observadas nessa estrada não são maiores às observadas nas estradas de terra (vide foto “d” na figura 71), pelo que essa via se constitui em mais uma barreira para o fluxo normal da água, esta vez daquela que escoar no sentido N-S ou NW-SW.

O efeito mais visível se da presença dessas estruturas sobre a estrutura e composição da vegetação, sendo um dos responsáveis, no pior dos casos, da formação de Floresta Paludosa Antrópica (FPan), florestas simplificadas que no seu estado natural fariam parte da Floresta de Restinga Úmida (FaRu).

5.2.4. Hidrologia e dinâmica e comportamento pulsátil do sistema bertioga

As características muito particulares da área de estudo do ponto de vista hidrológico, climático e físico, e de cuja interação, resulta a formação de um complexo especial que pode ser reconhecido indistintamente como *geossistêmico* (do ponto de vista geográfico) ou *ecossistêmico* (do ponto de vista ecológico), ou uma *Zona Úmida* (do ponto de vista da conservação), ou um *sistema pulsátil* (do ponto de vista hidrológico), com atributos distinguíveis dos ambientes vizinhos e ainda do bioma que o circunda. Por tal causa, esse complexo tem sido chamado de maneira generalizada neste trabalho como *Sistema Bertioga*.

Conforme a série histórica de pluviosidade mensal para o município de Bertioga (posto E-125) e os dados do sensor TRMM, a classificação de Köppen-Geiger que mais se aproxima às características climáticas desse sistema seria Clima Tropical úmido - Aw, mas com algumas peculiaridades do clima de monção (precipitação total anual média > 1500 mm, precipitação do mês mais seco < 60 mm).

O sistema Bertioga tem um caráter de azonalidade climática e geográfica, porque mistura atributos da faixa hiper-úmida equatorial, com outros atributos inerentes à faixa úmida tropical. Embora isso, o sistema conta com meses com déficit hídrico.

Cabe salientar que essa classificação e a definição do sistema como uma Azonalidade aqui proposta, não está isenta de controvérsia, porque não condiz com a classificação teoricamente esperada, mas todos os dados, sobretudo os pluviométricos, apontam para valores significativamente maiores aos esperados, embora o Estado de São Paulo se caracterize por ter uma precipitação com assimetria positiva.

Nesse sistema existe um comportamento sinusoidal dos eventos climático-hidrológicos, que evidenciam a periodicidade anual desses eventos. De acordo com os resultados do BHC, tem-se nos meses de junho e julho uma situação de equilíbrio entra a entrada e saída de água no sistema, pelo que os valores de pluviosidade desses meses, representam o limite máximo de precipitação, a partir do qual se pode desencadear um evento de inundação.

De acordo com Junk *et al* (1989), um pulso relativamente previsível e de longa duração, como seria o caso do subssistema Guaratuba, favorece o desenvolvimento de estratégias adaptativas que permitem aos organismos utilizar eficientemente os atributos da zona de transição aquática-terrestre (ZTAT).

Fatores como a densidade da cobertura vegetal são fortemente influenciados, além dos atributos estudados, como já foi observado, pela elasticidade do pulso.

No Sistema Bertioga a sobrevivência da vegetação e, por extensão, da fauna local, está mais subordinada à resposta que possam dar aos eventos de inundação durante a limnofase.

Tanto no subssistema Guaratuba como no Itaguaré a amplitude do pulso hidrossedimentológico é alta, ou seja, os períodos de inundação são relativamente longos. Essa característica põe à prova os mecanismos de adaptação da vegetação (fisiológicos, morfológicos, fenológicos...).

Pelas observações de campo, densas chuvas de sementes, rápida colonização dos espaços abandonados pelas águas, rápido crescimento e amadurecimento (estratégia reprodutiva “r”), são eventos e processos comuns à vegetação mais ligada às áreas alagáveis.

Entretanto, nas áreas que nunca são atingidas pela inundação, e ainda na potamofase, favorece-se a vegetação que opta por uma estratégia reprodutiva “k”. O maior gasto de energia está no aumento da densidade da parte vegetativa da cobertura vegetal, o crescimento vertical e posteriormente horizontal do dossel, são características que se evidenciam na flora dessas localidades.

Além da amplitude do pulso, a presença ou ausência de diferentes tipos de fitofissionomias depende também da intensidade e elasticidade do pulso.

A alta intensidade do pulso em ambos os subssistemas indica a prevalência dos eventos associados à potamofase. Não obstante, essa prevalência é relativamente maior no subssistema Guaratuba (intensidade = 123,87) que no Itaguaré (intensidade = 102,6).

De acordo com isso, espera-se que eventos tais como o transporte de sedimentos na planície, a decomposição de matéria orgânica terrestre, o acúmulo de detritos e a atividade bacteriana nos sedimentos, a taxa de concentração de carbono orgânico dissolvido no rio, e os processos erosivos de ribeiras sejam maiores no subssistema Guaratuba.

Entre tanto, espera-se uma maior produtividade primária nos brejos e poços associados ao subssistema Itaguaré, assim como uma menor turbidez e uma maior concentração de nutrientes na água, a respeito do Guaratuba.

A baixa elasticidade do Sistema Bertioga evidencia uma alta interconexão entre seus ambientes sedimentares, pelo que, do ponto de vista ambiental, espera-se que qualquer alteração ou intervenção antrópica feita em algum dos dois subssistemas, seus efeitos seriam sentidos no outro subssistema.

Por outro lado, esse complexo ecossistêmico se distingue por ser um umidal regido hidrologicamente por um pulso hidrossedimentológico unimodal, altamente influenciado por uma sazonalidade *localizada* e de tipo tropical (períodos alternados de excesso e déficit hídrico), e menos pela sazonalidade estacional (primavera, verão, outono, inverno).

Independente disso, a conectividade do pulso hidrossedimentológico concorda com um sistema em equilíbrio dinâmico, sendo menor essa dinâmica no subssistema Itaguaré, a respeito do subssistema Guaratuba. Contudo, a amplitude do pulso de inundação é alta, o que favorece as espécies de estratégia reprodutiva “r”.

O sistema é pouco elástico, que lhe confere uma alta interconexão entre seus ambientes sedimentares, e uma baixa resiliência ao sistema, assim como uma apreciável susceptibilidade às alterações a macro e microescala.

A intensidade da fase de inundação postula essa localidade como uma armadilha de carbono e regido por processos erosivos, sobretudo no subssistema Guaratuba.

Como consequência da elevada pluviosidade, temperatura e umidade, o bioma característico do Sistema Bertioiga se assemelha à floresta equatorial (de clima tropical úmido), com uma formação vegetal marcada pelo predomínio de árvores de médio porte, e com frequentes formações higrófilas.

A frequência estacional indica que a vegetação deve-se adaptar a situações de estresse hídrico extremo a moderado nos meses de déficit hídrico, quer dizer, por um curto período de tempo, mas que é suficiente para disparar uma série de processos fenológicos, que, em últimas contas, é indispensável para manter a dinâmica cíclica do sistema.

Os ecótopos inclusos no Sistema Bertioiga são altamente influenciados pelos sistemas estuarinos que apresenta (Guaratuba e Itaguaré), e a cunha salina que tem entrada por meio desses sistemas, sobretudo no subssistema Guaratuba.

O padrão de circulação das águas estuarinas também é uma característica especial no Sistema Bertioiga. Eles se assemelhariam mais aos estuários de regiões temperadas, porém com elementos florísticos e faunísticos tropicais.

Em termos ecológicos, o subssistema Itaguaré favorece mais uma estrutura ecossistêmica com maior riqueza e/ou abundância de organismos flúvio-terrestres, enquanto que no subssistema Guaratuba a tendência é o favorecimento de uma estrutura ecossistêmica com maior riqueza e/ou abundância de organismos flúvio-marinhos.

A presença de diferentes geo-estruturas, representadas por unidades quaternárias pleistocênicas a holocênicas e atuais, confere ao Sistema Bertioiga um caráter anisotrópico nas suas variáveis físico-químicas, pelo que resulta difícil generalizar o ambiente desse ponto de vista.

Todavia, evidenciou-se uma clara relação entre a variação dos valores de da maioria das variáveis físico-químicas e o pulso hidrossedimentológico, utilizando para tal, algumas variáveis em que se contava com dados correspondentes às duas fases do pulso.

O ambiente em geral é redutor na potamofase e oxidante na limnofase, e, espacialmente, os ecótopos localizados na planície central apresentam condições de redução química, enquanto que as condições de oxidação química dos minerais se apresentariam nos ecótopos próximos à cunha salina e terraços aluviais.

Em termos comparativos, infere-se que em média o volume de sedimentos finos que se movimenta na coluna superficial de água no subssistema Itaguapé é bem menor que no subssistema Guaratuba.

Um intenso processo de biodegradação aeróbia e anaeróbia se dá no estuário externo e grande parte do estuário central do subssistema Guaratuba, acompanhado de uma forte mineralização, refletido nos valores mais elevados de SDT, e que resulta menos evidente no Itaguapé.

No subssistema Itaguapé, os organismos aquáticos de origem fluvial se defrontam com condições osmóticas mais favoráveis que no Guaratuba, onde esses organismos devem apresentar um maior acúmulo de solutos orgânicos para contrabalançar os efeitos da salinidade.

Em geral, o subssistema Itaguapé favorece a presença de organismos (vegetais e animais) oligohalinos e os propriamente estuarinos, enquanto que, em comparação, o subssistema Guaratuba favorece a presença de organismos eurihalinos.

Em outras palavras, as condições apresentadas na fase estuarina do subssistema Itaguapé devem atrair mais organismos aquáticos de origem fluvial e vertebrados terrestres, esses últimos usando-o como bebedouro (tanto depredadores como presas), que a fase estuarina do subssistema Guaratuba.

Entretanto, esse último subssistema deve atrair um pouco mais os organismos aquáticos de origem marinha (eurihalinos) e uma avifauna associada com a depredação desses organismos aquáticos.

Por tanto, a dinâmica da rede trófica deve ser diferente entre os dois subssistemas. Conforme Babler (2000), as espécies iliófagas dominam os estuários de tipo fechado como os estudados, e mais ainda no subssistema Guaratuba, onde a carga sedimentos e detritos é muito maior a respeito do Itaguapé, conforme os valores observados de SDT.

As condições do subssistema Guaratuba favorecem de uma maneira mais evidente que no subssistema Itaguapé, o desenvolvimento de estratégias adaptativas que permitam aos organismos utilizar eficientemente os atributos da zona de transição aquática-terrestre (ZTAT).

No entanto, dada à proximidade espacial entre os dois subssistemas e o relativo pequeno tamanho do sistema em geral, não se espera muitas diferenças na riqueza e composição de espécies, sobretudo enquanto a fauna vertebrada terrestre.

Sendo que se observaram nos valores características afins com os estuários de tipo positivo (mais comuns nas áreas temperadas, de acordo com MARQUES, 2008), isso descreveria esses estuários como de um tipo muito curioso, já que pelo padrão de circulação eles se assemelhariam mais aos estuários de regiões temperadas, porém com elementos florísticos e faunísticos tropicais.

Por fim, lembrando que o nível das marés observado esteve entre 0,70 – 0,78 m coincidem com o nível médio das marés na região, sabendo que o nível máximo registrado para essa área litorânea pode atingir 1,40 m (de acordo com os valores reportados nos postos de São Sebastião e Santos).

Não obstante, como já foi dito, os resultados devem ser considerados como uma base para uma futura caracterização completa dos sistemas estuarinos, que deve considerar também os ciclos das marés e ainda os possíveis efeitos da sazonalidade estacional e o ciclo do pulso de inundação e seca.

5.2.5. Contextualização espacial dos solos.

O mapa probabilístico dos solos modelado para o Sistema Bertioga permite observar claras diferenças entre o subssistema Guaratuba a respeito do Itaguapé. A disposição espacial dos mesmos evidenciou uma sequência evolutiva acorde com a orientação geral do litoral paulista.

Os solos da Planície Frontal são inconfundivelmente de origem marinha, com já tem sido reportado por diversos autores. No ínterim, na Planície Intermediária há um domínio de

solos de origem continental (Gleissolos) com horizontes orgânicos enterrados e ainda vestígios de terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos.

Por sua vez, a Planície Distal e a Baixa Encosta evidenciam a prevalência de sedimentos de origem flúvio-continental, sendo característica a presença de uma bolsa de seixos rolados de natureza fluvial, mesma que sugerem eventos tais como a ocorrência no passado de grandes movimentações de solos.

No Subssistema Guaratuba se destaca uma alta presença de solos pouco evoluídos (Neossolos, Cambissolos), sobretudo transportados, enquanto no segundo se destaca um ambiente mais estável, mais pausado, que permitiu a permanência até hoje de solos residuais mais antigos (espodossolos, gleissolos organossolos de origem paleoestuarina-lagunar).

Na Baixa encosta e na Planície Distal é marcante a presença de Latossolo Amarelo no anfiteatro da Serra do Mar que dá o percurso ao Rio Guaratuba. Não obstante, há domínio dos neossolos, tanto Regolítico como Flúvico, e na Planície Intermediária correspondente a esse subssistema prevalece a presença de CF.

A presença desses solos sugere competência de transporte, e, portanto, de energia cinética elevada no rio (tal como evidenciado por Rossi & Queiroz-Neto, 2002) para o desmantelamento ou soterramento do Latossolo, e, a partir desse retrabalhamento, reconversão em neossolos.

Rossi & Queiroz-Neto (2002) sugerem que a situação de alta energia cinética pode estar relacionada com os eventos de precipitação torrencial, comuns no Sistema Bertioga. Porém, essa sugestão não explica por se só a diferença marcante a respeito do subssistema Itaguapé, quem está sujeito ao mesmo regime de chuvas.

Como já foi comentado no módulo de hidrologia e clima deste trabalho, Oliveira (2003) evidenciou no planalto, a ocorrência da captura fluvial a que foi objeto o Rio Guaratuba. Uma hipótese de trabalho que se propõe, é que essa ocorrência da captura fluvial, entre outros fatores, explicaria melhor tal diferença na evolução dos solos entre os dois subssistemas.

5.2.6. Relação entre solos e ecótopos.

O relacionamento entre os padrões espaciais dos solos e os ambientes ecológicos observados, à escala da paisagem trabalhada, não é de fácil interpretação, pelo caráter multivariável que muitas vezes tem a resposta da vegetação neste caso (e daí por diante, todo

o ciclo da matéria e energia), ao ambiente físico que impera, sendo inclusive a mesma vegetação mais uma variável que modifica igualmente esse ambiente físico.

Por causa dessa premissa, a disposição espacial a respeito das duas variáveis observadas parecem responder a fenômenos, eventos, mecanismos e processos independentes, exceto nos solos integralmente discretizados pelo substrato geológico que os originou, como EH e NQa.

Mesmo assim, um exame mais focalizado permite observar que existem sim alguns padrões que permitem contextualizar o relacionamento entre essas duas variáveis. Entre eles, tem-se:

- A Floresta Alta de Restiga (FaR) responde a solos sobre sedimentos marinhos pleistocênicos, e a Floresta Baixa de Restinga (FbR) a solos sobre depósitos marinhos holocênicos, tal como já foi evidenciado por outros autores.
- Vale salientar que na nomenclatura utilizada, “Alta” e “Baixa” não fazem referência à densidade da cobertura vegetal, e sim a respeito da altitude do depósito sedimentar. Contudo, no campo se observou uma inclinação da FaR a apresentar maior densidade e altura que FbR.
- As florestas aluviais e de transição Restinga-Encosta se desenvolvem preferivelmente no Neossolo Flúvico e nas áreas transicionais com Câmbissolo Flúvico, sendo que o Espodossolo Ferrihumilúvico marca o limite das suas extensões.
- As florestas de restinga úmidas (FaRu) se localizam preferivelmente nas áreas de transição entre Gleissolo Háplico e Melânico, sendo que As áreas de transição entre Espodossolo Ferrihumilúvico e Gleissolo Háplico marcam o limite de sua extensão.
- A Floresta Paludosa pode ter diferentes origens, que pode ser edáfica, hídrica, química ou antrópica, ou à combinação delas. Entre as características edáficas, destaca-se a presença marcante no Organossolo Fíbrico e Sáprico que vão do caráter sódico que se presume que tem os solos fronteiriços com as áreas estuarinas atuais,
- No Subssistema Itaguaré se observa o ecótopo FPan, que na verdade é um ecótopo de origem antrópica, e que originalmente, inferido pelos tipos de solo presentes, deveria ter sido FaRu, mas que no momento apresenta características de FPa.
- Comparando a extensão dos solos tipificados para FaRu, é possível que a área caracterizada como FPa, tenha sido superestimada, ao tempo que a área classificada como FPan, poderia ter sido subestimada.

5.2.7. Variabilidade química dos solos

Em termos gerais, na maioria das variáveis químicas estudadas, a variação dos teores para a camada superficial dos solos do Sistema Bertioiga, está condicionada pelas as orientações dos eixos de declividade da planície, da rede de drenagem e da linha de costa.

Também se observou que essa camada se pode considerar como extremadamente ácida, pelo que é causa dos valores muito baixos de SB, da baixa saturação por bases (V%), da alta saturação de alumínio (m%), alumínio trocável (Al^{+3}) e acidez potencial (H+Al).

Por sua parte, o Fe e Mn são similares tanto nos processos geológicos como nos químicos. Entre eles existem Semelhanças no caráter iônico das ligações químicas das suas formas solúveis, as quais são suficientes para que o Fe^{2+} e o Mn^{2+} possam-se substituir extensivamente um pelo outro (ABREU *et al.*, 2007).

Conforme esses autores, a presença desses óxidos no solo reveste-se de grande importância, pois são eles que praticamente controlam a solubilidade do elemento, que é muito influenciada pelo pH e pelo potencial de oxirredução do solo, por cuja causa as formas oxidadas podem passar para formas reduzidas, e vice-versa.

Conforme a sequencia termodinâmica da redução em solos inundados apresentada por Fageria (1984, *apud* ABREU *et al.*, 2007), a redução do Mn^{4+} para Mn^{2+} ocorre em solos com potencial de 401 mV e a redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} se dá em potencial de -185 mV.

Conforme o potencial redox observado para o sistema (com valores entre 43,9 mV e -474,6) é muito provável que, mesmo em solos não inundados, a toxidez de Mn seja possível. A toxidez de Fe possivelmente se está dando nos ecótopos com solos em condições muito redutoras, como seria no caso dos ecótopos sobre sedimentos paleoestuarino-lagunares, em especial os localizados na Planície Oriental.

Também o pH responde também pelos altos níveis de H^{+} e alumínio trocável, conferindo um caráter distrófico e álico a essa camada do solo. Também o pH extremamente baixo limita a decomposição da MO, embora ela se apresente em concentrações médias.

Conforme Ronquim (2010), o índice V% baixo observado significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , saturando as cargas negativas dos coloides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H^{+} e Al^{3+} .

Conforme os valores de alumínio trocável e V% observados, uma parcela significativa das cargas negativas do solo está adsorvendo íons H^{+} , pelo que se infere que os altos valores

de CTC só se explicam porque é proveniente da matéria orgânica, já que o excesso de água no sistema causa a lixiviação das bases e o preenchimento das cargas negativas pelo alumínio e/ou pelo hidrogênio, tal como também foi observado por Moreira (2007).

A variação dos teores observados dos elementos Ca, Mg^{+2} e B, dependem da localização dos ecótopos, e também se explicam pelas variações do pH registrado assim dessa maneira. Todavia, esses elementos mantêm concentrações altas (contrário ao esperado), embora a acidez extrema do meio.

Por outra parte, as altas concentrações de Al^{+3} , Mn e Zn, observadas nas planícies Central e Ocidental, também estão relacionadas com a acidez extrema observada nessas zonas. Da mesma maneira, os menores valores observados para essas variáveis na Planície Oriental, relaciona-se com o pH mais alto dessa zona.

A respeito da variável T, os valores observados sugerem o predomínio de minerais 2:1, exceto nos ecótopos localizados na Planície Oriental. Rossi & Queiroz-Neto (2002) observaram grande quantidade de mica (filossilicato 2:1) em todo o perfil dos gleissolos, possivelmente resultante de um processo diagenético que se efetua sob pressão e temperatura baixa (ambiental).

Embora os altos teores de m% em grande parte do sistema, Rossi & Queiroz-Neto (2002) registraram valores baixos de m% no horizonte diagnóstico subsuperficial Bhs do Espodossolo presente na bacia do Guaratuba. Sendo que a análise realizada nesta pesquisa corresponde à camada superficial (0–20 cm), comparando ambos os resultados, eles indicam que a maior toxidez por Al^{+3} trocável permanece na camada orgânica do solo, sem que isso indique, nos solos espódicos, um efeito nocivo para a vegetação, sendo que o sistema de raízes das plantas, embora não muito profundas, de qualquer forma captam os nutrientes a maior profundidade.

Todavia, qualquer alteração nos ecótopos localizados sobre esse tipo de solos que implique um aumento da taxa de lixiviação e filtração desse componente, implicaria um aumento inusitado da toxidez nos horizontes que servem de fonte de nutrientes às plantas, podendo, em conjunto com outras variáveis, ocasionar o colapso ou a simplificação da riqueza e/ou abundância do sistema completo.

Essa situação se confirma quando são comparados os resultados para a camada superficial nos organossolos e gleissolos da região, realizados tanto em esta pesquisa para o horizonte superficial do solo, como as feitas por Rossi & Queiroz-Neto (2002) para os

horizontes subsuperficiais, e as observações de Sobrinho (2012) a respeito da riqueza da flora relacionadas com os ambientes sedimentares que incluem esse tipo de solos.

A partir desses trabalhos, sabe-se que tanto no horizonte superficial, como no resto do perfil de tais solos, observa-se uma elevada saturação por alumínio. Cruzando esta informação e os resultados obtidos por Sobrinho (2012), os ecótopos relacionados com gleissolos e, sobretudo, com organossolos, são os menos diversos, a respeito dos ecótopos localizados sobre neossolos e solos espódicos ou câmbicos.

A respeito dos teores de fósforo (P), observou-se em concentrações altas e até muito altas a respeito dos valores esperados para Florestas sobre solos extremamente ácidos, e concentrações baixas nos ecótopos com pH maior.

O fósforo é um elemento de muito baixa mobilidade (praticamente nula), pelo que deveria esperar-se uma distribuição mais ou menos isotrópica no sistema em geral. O comportamento anisotrópico do P se explica por várias razões mais ou menos interligadas.

A primeira é que o P solúvel em água, embora sua mobilidade lateral seja quase nula, esse elemento tem uma tendência à migração vertical, relacionada com a capacidade tampão dos horizontes sub-superficiais, que determina, muitas vezes, a ciclagem de nutrientes de todo o ecossistema (CAMPOS *et al.*, 2005).

Essa migração do P explica a diferença de concentrações entre os ecótopos localizados sobre sedimentos arenosos a respeito dos ecótopos sobre sedimentos paleoestuarino-lagunares. Esse tipo de comportamento do P em solos arenosos já foi observado experimentalmente por Galvão *et al.* (2008).

Isso se evidencia pela maior concentração do P no ecótopo FPa a respeito dos outros ecótopos localizados dentro da Planície Oriental, cuja maior diferença se encontra no tipo de sedimento em que se localizam.

A segunda está relacionada com a maior limitação na decomposição da MO nos ecótopos com solos mais ácidos. O pH mais ácido desses ecótopos incrementa a não disponibilidade do fósforo, ocorrendo uma maior acumulação na forma de H_2PO_4^- . Em outras palavras, embora tenha sido observada uma maior acumulação de P solúvel em água nos solos sobre sedimentos mais ácidos, ele está menos disponível.

Uma terceira razão, interligada à anterior, tem a ver com a maior concentração de óxidos de ferro e alumínio nos ecótopos da Planície Central, a respeito da Planície Ocidental e, esta, a respeito da Oriental (comparem-se na figura 66, os mapas “i”, “j”, e “o”). Conforme

Vale *et al.* (1998, *apud* Moreira, 2007), quanto maior o predomínio de óxidos de ferro e de alumínio, maior é a capacidade de fixação do fósforo.

A respeito da distribuição do teor de potássio, os valores desta variável em ambos os subssistemas sugere duas coisas. A primeira é a importância da encosta da Serra como fornecedor de K para o sistema, evidenciado pelas altas concentrações do elemento na Baixa Encosta Ocidental.

A segunda é que, sendo o potássio um elemento de elevada mobilidade, a diferença nos teores entre ambos os subssistemas é favorecida no Subssistema Itaguapé, e é um reflexo do regime hidrológico mais dinâmico observado no Rio Guaratuba, que, como se sabe, foi alterado pela captura fluvial a que esse rio foi objeto.

Por fim, os valores para o teor de SSO^{2-}_4 , encontrados em cada setor da planície costeira, são acordes com o esperado conforme a literatura. Segundo Campos *et al.* (2005), tanto os teores de enxofre como do nitrogênio estão controlados pelo processo de decomposição da serapilheira. Quanto mais rápido acontece essa decomposição, maior será a disponibilidade para as plantas.

Conforme esses autores, essa estreita relação entre a ciclagem da matéria orgânica e a ciclagem do enxofre é bem importante em ecossistemas de floresta localizados em solos ácidos e com baixo aporte de S e N pela atmosfera e pelo material de origem, porque segura o estoque necessário desses elementos.

Mas por outro lado, a degradação da matéria orgânica do solo também implica em redução na disponibilidade de enxofre em médio prazo, cuja transformação para a forma inorgânica deixa esse elemento muito suscetível a perdas por lixiviação.

Essas premissas estão acordes com o observado na Planície Costeira e a Baixa Encosta estudada, em cuja Planície Central e Ocidental, que entre outras coisas são dominadas por ambientes mais ácidos, os teores de enxofre se encontram majoritariamente na forma orgânica, e por tanto menos disponível na forma SO^{2-}_4 , que é a forma disponível para a absorção pelas plantas.

5.2.8. Geoformas – tecnogeoformas

É evidente a grande concentração da artificialização do espaço dos ambientes sedimentares holocênicos paralelos à linha de costa, devida principalmente pelas condições de estabilidade que oferece para empreendimentos imobiliários, e ainda construções civis (um

fator não avaliado aqui é a presença de uma estrada paralela à linha de costa -BR 101- e que atravessa justamente as duas unidades mais afetadas).

Uma das maiores implicações da presença das TGFs paralelas à linha de costa, além da perda da estrutura da UQ e perda espacial do biótopo que sustentava mais a perda ou desvio da rede de drenagem, é que elas atuam como uma barreira que interrompe o fluxo natural de matéria e energia dos biótopos remanescentes, com a consequente simplificação do ecossistema em geral.

Para ter uma ideia mais exata dos impactos decorrentes da presença permanente das TGFs, um passo seguinte deste trabalho seria, por um lado, estabelecer que tão significativas são as relações existentes entre as UQs e os biótopos que sustentam, e o risco atual desses biótopos desaparecerem como unidade ecossistêmica funcional, e, por outro lado, quais as diferenças entre as TGFs e seu efeito sobre os biótopos remanescentes e as possibilidades de conservação deles como unidade ecossistêmica funcional.

Por último, existem outros tipos de intervenções que são dignas de avaliação, mas não são fáceis ou ainda possíveis de considerá-las à escala trabalhada (por exemplo, obras pontuais de grandes impactos sobre os biótopos, um evento muito comum em planícies de inundação), mas que a outra escala ou por outros métodos podem acrescentar, tal vez em ordens de grandeza, o conhecimento e entendimento da área de estudo.

5.2.9. Estabilidade da estrutura superficial do solo

Foi possível determinar a estabilidade da estrutura da superfície do solo em função dos biótopos e, assim, propor um índice que reflete a complexidade das florestas estudadas, e prever as possíveis mudanças que podem ocorrer ou ter ocorrido nestas florestas, devido à intervenção humana.

Este é precisamente o que acontece na Faru por causa da presença de uma estrada de terra orientada no sentido S-N, criando dessa forma uma barragem entre áreas do mesmo biótopo, cujo resultado foi a formação de FPan. Em outras palavras, o valor ISP_i mostra claramente a situação anômala que ocorre nessa floresta.

Além disso, como mencionado acima, segue-se que nas florestas em cuja estrutura superficial predominam naturalmente argilas e siltes, ter um melhor desenvolvimento de sua estrutura e composição, por isso se espera que eles sejam menos vulneráveis às mudanças ambientais, e, ao mesmo tempo, uma maior sensibilidade ecológica.

Sendo a estrutura de uma floresta um dos mais importantes para determinar a densidade da cobertura vegetal, de acordo com estes resultados pode-se afirmar (como uma hipótese de trabalho) que existe uma relação direta entre o valor ISP_i e valores de densidade, e pode ser atribuída a fatores extrínsecos ao meio (fatores humanos, neste caso) as anomalias observadas.

6. RESULTADOS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO TERRITÓRIO

6.1.SENSIBILIDADE ECOLÓGICA DO SISTEMA.

6.1.1. Componente Hidrologia/clima.

Foi avaliado conforme aos componentes a) Pulso Hidrossedimentológico, e b) Variação do lençol freático (NA) e Química das águas.

Pulso hidrossedimentológico.

Este componente foi avaliado tomando como base as variáveis calculadas para a função *f FITRAS*: amplitude, intensidade, estacionalidade, tensão, frequência e elasticidade. Tais variáveis foram consideradas como subcomponentes, de acordo com as duas fases do pulso: potamofase (tabela 26), e limnofase (tabela 27).

Componente Hidrologia **POTAMOFASE**

Subcomponente	Amplitude				Intensidade				Estacionalidade				Tensão				Frequência				Elasticidade					
atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _a	
Transporte e depósito de sedimentos na planície	0.569	0.586				0.586																0.586				
Decomposição da matéria orgânica terrestre, acúmulo de detritos e aumento da atividade bacteriana nos sedimentos		0.586				0.586																0.586				
Reativação de paleosulcos						0.586																0.586				
Integração de habitats aquáticos da planície, predomínio de comunidades reófitas		0.586				0.586									0.586							0.586				
Fragmentação dos habitats terrestres da planície, substituição das comunidades aquáticas por comunidades terrestres			0.586				0.586									0.586										
Aumento da concentração de carbono orgânico dissolvido no rio							0.586																	0.586		
Erosão de bancos e ribeiras							0.586																	0.586		
Diminuição da produtividade primária nos brejos e poços, aumento da turbidez e diminuição da concentração de nutrientes na água							0.586																	0.586		
Migrações de retorno de peixes aos estuários							0.586				0.586												0.586			
Ativação de barragens, caminhos e estradas																							0.586			
Abandono de explorações (legais ou não) dentro da floresta										0.586				0.586								0.586				
Total	0.569	0.376	0.209	-0.167	-0.095	0.488	0.098	-0.390	-0.222	0.468	0.117	-0.351	-0.200	0.251	0.418	0.167	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.390	0.195	-0.195	-0.111	

Tabela 26- Valores da SE dos subcomponentes e atributos do pulso hidrossedimentológico durante a potamofase. Foram ressaltados os atributos que se observaram sensíveis a algum tipo de componente.

Na valoração se consideraram como atributos os eventos associados ao rio e à planície, conforme foram apresentados também no módulo de hidrologia e clima.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 27, durante a potamofase o sistema apresenta em geral uma baixa SE, pelo que, conforme aos atributos utilizados, ele mantém um funcionamento que se pode considerar como normal.

componente Hidrologia LIMNOFASE																										
Subcomponente		Amplitude			Intensidade			Estacionalidade				Tensão				Frequência			Elasticidade							
atributo	1-DP _s	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	
Exposição de sedimentos na planície aluvial	0.569	0.586		-0.586		0.586																				
Colonização de sedimentos expostos pela vegetação herbácea	0.569									0.586		-0.586														
Integração dos habitats terrestres da planície, substituição das comunidades aquáticas por comunidades terrestres	0.569	0.586		-0.586		0.586								0.586		-0.586										
Colonização de sedimentos expostos pela vegetação lenhosa	0.569	0.586		-0.586		0.586																				
Atividade de herbívoros terrestres (mamíferos, insetos) + depredadores	0.569	0.586		-0.586		0.586																				
Incremento da concentração de nutrientes nos brejos	0.569	0.586		-0.586		0.586																				
Aumento de produtividade primária nos brejos da planície	0.569	0.586		-0.586		0.586																				
Estabilidade dos bancos e ribeiras	0.569	0.586		-0.586		0.586																				
Início de migrações de peixes dos estuários	0.569					0.586				0.586		-0.586														
Aumento das concentrações de carbono orgânico particulado no rio	0.569					0.586																				
Aumento dos processos extrativos (caça, pesca, extração de madeira, palmito, etc)	0.569		0.586	0.586												0.586	0.586							0.586	0.586	
Diminuição da temperatura da água e aumento do oxigênio do rio	0.569					0.586																				
Fragmentação dos habitats aquáticos da planície, substituição das comunidades lóti- cas por comunidades lênticas (invertebrados aquáticos e seus depredadores (outros inver- tebrados, anfíbios)	0.569		0.586	0.586		0.586										0.586	0.586							0.586	0.586	
Estabelecimento de assentamentos(rurais, urbanos) na planície	0.569															0.586	0.586							0.586	0.586	
Total	0.569	0.586	0.586	-0.234	-0.133	0.586	0.586	-0.455	-0.259	0.586	0.000	-0.586	-0.333	0.586	0.586	0.390	0.222	0.000	0.586	0.586	0.586	0.333	0.586	0.586	-0.315	-0.180

Tabela 27- Valores da SE dos subcomponentes e atributos do pulso hidrossedimentológico durante a limnofase. Foram ressaltados os atributos que se observaram sensíveis a algum tipo de componente.

Todavia, para esta fase se observam atributos que contribuem à vulnerabilidade do sistema, pelo que merecem especial atenção. Nesse contexto, durante essa fase se criam as condições que deixam ao sistema especialmente sensível perante todos os componentes que incidem sobre a fragmentação dos habitats terrestres da planície (amplitude, intensidade e tensão). Além disso, a elasticidade é o componente que deixa ao sistema sensível ao maior número de atributos.

Nesse sentido, por causa da elasticidade do sistema não se favorece a concentração do carbono orgânico, há um aumento da erosão de bancos e ribeiras, diminui a produtividade primária, aumenta a turbidez e diminui a concentração de nutrientes na água.

Por outro lado, durante a potamofase os caminhos e estradas atuam como barragens que não permitem o fluxo normal das águas, pelo que tem um efeito de retardo na evacuação das mesmas. Esse retardo significa que nas áreas alagadas, há um aumento, tanto do tempo de encharcamento do solo, como da extensão da lamina superficial e, ainda, da altura da coluna d'água.

Cabe destacar que, sendo a planície uma área de muito baixa declividade, intervenções antrópicas pontuais (como por exemplo, a construção de uma pequena ponte), se não fossem feitas com as especificações adequadas, o impacto que causa é de grande extensão. Nesse contexto, tubulações sem a largura adequada, e ainda entupidas por falta de manutenção, aumentam de maneira artificial as condições próprias da potamofase, por cuja causa não há uma recuperação adequada do sistema.

Durante a limnofase o sistema se mantém em um estado geral de baixa SE, devido em especial à elasticidade do sistema. Todavia, merece especial atenção os atributos relacionados com a integração dos habitats terrestres (favorecido pela amplitude do pulso, a intensidade e tensão do pulso), a fragmentação dos habitats aquáticos/semiaquáticos, o estabelecimento de assentamentos rurais ou urbanos, e, sobretudo, o aumento dos processos extrativos, em especial a caça e a extração de palmito, favorecida por todas as variáveis do pulso, exceto a frequência.

Química das águas subsuperficiais e Variação do lençol freático (NA).

Na tabela 28 se apresentam os resultados da valoração da SE para o lençol freático enquanto à química e a sua profundidade. Os resultados evidenciam uma SE extrema para as variáveis químicas, embora só três variáveis contribuam para essa SE.

Chama a atenção o SE extremamente alto do potencial redox (ORP), seguido pelo pH, pelo que, a respeito deste componente, não se deveria esperar uma variação significativa em favor da diminuição da SE para qualquer época do ano.

Como foi descrito na abordagem metodológica, a medição da SE do lençol foi feita considerando uma profundidade do NA menor a 60 cm como contribuinte à vulnerabilidade do sistema. Com base nesse critério, em geral o sistema apresenta uma SE Média-Baixa. Já na

SE observada mês a mês, nos meses de setembro, outubro e janeiro os ecótopos apresentam a maior, sendo ela qualificada como média – alta. Em relação às fases do pulso, esses meses formam parte da potamofase.

Componente Hidrologia, subcomponente química águas sub-superficiais

Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s
°C	0.804	0.816	0.000	-0.656	
pH	0.766	0.068	0.465	0.398	
ORP	0.764	0.110	1.474	1.364	
OD ppm	0.688	0.386	0.508	0.122	
µS/cm	0.875	0.257	0.058	-0.199	
kOhm.cm	0.775	0.239	0.772	0.532	
SDT ppm	0.875	0.039	0.000	-0.039	
Salinidade	0.878	0.334	0.315	-0.019	
Total	0.803	0.281	0.449	0.188	0.151

Componente Hidrologia - NA águas sub-superficiais

Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s
ago/09	0.695	-0.458	-0.270	-0.155	
set/09	0.668	-0.179	-0.082	-0.097	
out/09	0.693	-0.136	-0.092	-0.044	
nov/09	0.713	-0.320	-0.046	-0.274	
dez/09	0.713	0.205	0.111	-0.094	
jan/10	0.694	0.192	0.167	-0.025	
fev/10	0.718	0.288	0.068	-0.220	
mar/10	0.706	0.204	0.130	-0.074	
abr/10	0.699	0.219	0.118	-0.100	
mai/10	0.713	0.357	0.079	-0.278	
jun/10	0.722	-0.510	-0.043	-0.553	
jul/10	0.688	0.275	0.118	-0.156	
ago/10	0.692	1.768	0.000	-1.768	
set/10	0.687	0.125	0.192	0.066	
out/10	0.687	0.125	0.192	0.066	
nov/10	0.699	0.216	0.118	-0.098	
dez/10	0.707	0.263	0.112	-0.151	
jan/11	0.698	0.152	0.167	0.015	
Total	0.468	0.193	0.069	-0.181	-0.084

Tabela 28- Sensibilidade ecológica do sistema a respeito da química das águas subsuperficiais e a variação mensal do lençol freático.

6.1.2. Componente Solos, subcomponentes Tipo de solo, Estabilidade da estrutura superficial do solo e Química de solos.

Na tabela 29 se apresentam os resultados da medição da SE a respeito desses subcomponentes.

Em geral, o sistema apresenta uma SE Alta a respeito do componente *Solos*. O componente que mais contribui para a SE é a estabilidade Estrutural da camada superficial do solo, mesma que apresenta o índice mais alto em quase todos os ecótopos.

Por sua incidência na vulnerabilidade intrínseca dos solos a processos erosivos (metodologicamente já trabalhado por BARBALHO & CAMPOS, 2010), os solos foram valorados considerando a condutividade hidráulica reportada pela literatura para os solos brasileiros, a respeito da condutividade hidráulica esperada (experimental) conforme ao tamanho uniforme para areia fina, conforme aos intervalos propostos por Orduz *et al.* (2001).

Componente Solos, subcomponente tipo de solo						Componente Solos, subcomponente Química de solos							
Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	Atributo	1-DPA _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s		
Latossolo Amarelo	0.781		0.05	0.05	0.041	Variáveis sumárias							
Neossolo Regolítico	0.781	0.0005		-0.0005		PH	0.801	0.000	1.618	1.296			
Neossolo Flúvico	0.781	0.0005		-0.0005		MO	0.707	4.870	0.140	-3.344			
Cambissolo Flúvico	0.781	0.0005		-0.0005		Al ⁺³	0.705	0.715	0.842	0.089			
Espodossolo Ferrihumilúvico	0.781		0.018	0.018		Complexo Troca Catiônica							
Glaissolo Háplico	0.781	0.0005		-0.0005		H+Al	0.666	0.145	2.476	1.552			
Gleissolo Melânico	0.781	0.0005		-0.0005		SB	0.770	0.530	0.460	-0.054			
Organissolo Fíbrico	0.781	0.0005		-0.0005		V%	0.783	0.126	0.673	0.428			
Organossolo Sáprico	0.781	0.0005		-0.0005		CTC	0.761	0.899	0.252	-0.492			
Espodossolo Humilúvico	0.781		0.018	0.018		T	0.674	1.016	3.883	1.934			
Neossolo Quartzarênico	0.781		0.5	0.5		m%	0.753	0.096	0.570	0.357			
SUBTOTAL	0.781	0.000	0.053	0.053		Macronutrientes							
Componente Solos, subcomponente Estabilidade Estrutural do solo						P	0.806	1.162	0.907	-0.206			
Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s	K	0.884	0.237	0.417	0.159			
Solos sob FbR	0.772	1.015	0.204	0.204	0.293	Ca	0.771	1.182	0.656	-0.406			
Solos sob FaR	0.772		0.291	0.291		Mg	0.756	0.168	0.268	0.075			
Solos sob FTr	0.772		0.694	0.694		Micronutrientes							
Solos sob FAL	0.772		0.750	0.750		B	0.839	0.155	0.397	0.203			
Solos sob Cx-FaR/FaRu	0.772		0.772	0.772		Fe	0.817	0.205	1.188	0.803			
Solos sob FPan	0.772		-1.015	-1.015		Mn	0.880	1.335	0.078	-1.106			
Solos sob FaRu	0.772		0.788	0.788		ZN	0.816	0.357	0.080	-0.226			
SUBTOTAL	0.772		0.169	0.549		0.380	SSO4	0.840	2.393	0.633	-1.478		
TOTAL SE SISTEMA (todos os componentes)						SUBTOTAL	0.825	0.917	0.914	-0.023	-0.023		
						0.104							

Tabela 29- Sensibilidade Ecológica do sistema a respeito do componente *Solos*. Foram ressaltados os atributos que contribuem à SE do sistema.

Os solos com maior SE foram, em ordem decrescente, o Neossolo Quartzarênico, o Latossolo Amarelo e, por fim, os espodossolos. Esses solos apresentaram SE intolerável, Média-Alta e Média, respectivamente. Tal qualificação é coerente com o observado em campo, onde o primeiro tipo de solo é ocupado majoritariamente pelos empreendimentos urbanos, o segundo tipo se apresenta bastante desarranjado, e o último é representado por remanescentes que sofrem processos erosivos evidentes.

Destaca-se que nas variáveis químicas, embora muitas delas contribuam para a SE, pelo que se deveria esperar uma SE entre alta e Muito Alta, os teores de MO são o suficientemente altos como para manter o sistema a um nível médio. Todavia, embora esse alto teor observado nos diferentes ecótopos, o suprimento de MO apenas alcança para a manutenção do sistema, sendo o fator determinante para manter o equilíbrio do mesmo.

Provas realizadas com os dados analisados mostraram que uma queda de 30% no estoque de MO seria suficiente para aumentar a SE para um nível Médio-Alto, supondo que as outras variáveis continuem registrando os mesmos teores. Mas é obvio que, conseqüentemente, haveria uma queda nos valores das outras variáveis que contribuem à diminuição da SE (nutrientes, SB, V%, CTC efetiva...).

Assumindo a mesma queda para essas variáveis, o sistema entraria a um nível de SE Alto. Por tanto, a resiliência do sistema, a respeito do componente Solos, gira em torno de uma queda para 70% do “estoque” atual.

A respeito dos nutrientes disponíveis, conforme a lei de Liebig (lei do mínimo), entre os macronutrientes, o potássio é crítico para a manutenção do sistema, e entre os micronutrientes é o Boro, caindo sobre este último a condição de elemento crítico para o sistema. Outra situação é o ferro, que contribui para a SE, mas por causa do excesso desse elemento no sistema.

6.1.3. Componente Vegetação e paisagem.

Os resultados da medição da SE conforme a vegetação e a paisagem (tabela 30) indicam que o sistema se encontra em um estado que poderia ser considerado como “saudável”, com uns índices ideais conforme o sistema de qualificação adotado.

Do componente Vegetação, a densidade da cobertura vegetal é o subcomponente que mais contribui ao vigor dos ecótipos do sistema, e em segundo lugar a riqueza de espécies e por último a área basal média dos ecótipos.

Componente vegetação, subcomponente Riqueza de espécies

Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s
SB-FbR/Guaratuba	0,670	1,093		-1,093	
SB-FbR/Itaguare	0,680		0,387	0,387	
SB-FaR1/Guaratuba	0,690	1,136		-1,136	
SB-FaR2/Guaratuba	0,680	1,111		-1,111	
SB-FaR2/Itaguare	0,740	1,105		-1,105	
SB-FaR3/Guaratuba	0,570	1,148		-1,148	
SB-FaR3/Itaguare	0,720		0,982	0,982	
SB-FaRu	0,680	1,086		-1,086	
SB-FPa	0,450		0,730	0,730	
SB-FAL	0,720	1,111		-1,111	
SB-FTr1	0,870	1,123		-1,123	
SB-FTr2	0,720		0,988	0,988	
Total	0,683	0,743	0,257	-0,485	-0,331

Componente vegetação, subcomponente Área Basal Média/ecótipos

Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s
SB-FbR/Guaratuba	0,950		0,396	0,396	
SB-FbR/Itaguare	0,880		0,764	0,764	
SB-FaR1/Guaratuba	0,820	1,160		-1,160	
SB-FaR2/Guaratuba	0,910	1,160		-1,160	
SB-FaR2/Itaguare	0,920		0,962	0,962	
SB-FaR3/Guaratuba	0,840	1,019		-1,019	
SB-FaR3/Itaguare	0,830	1,104		-1,104	
SB-FPa	0,790		0,792	0,792	
SB-FaRu	0,810	1,189		-1,189	
SB-FAL	0,750	1,217		-1,217	
SB-FTr1	0,680	1,330		-1,330	
SB-FTr2	0,650		0,906	0,906	
Total	0,819	0,682	0,318	-0,363	-0,298

Componente vegetação, subcomponente densidade cobertura vegetal

Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s
Classe 1	0,869		0,687	0,687	
Classe 2	0,869		0,973	0,973	
Classe 3	0,869	0,989		-0,989	
Classe 4	0,869	1,207		-1,207	
Classe 5	0,869	1,042		-1,042	
Classe 6	0,869	1,065		-1,065	
Classe 7	0,869	1,153		-1,153	
Classe 8	0,869	1,259		-1,259	
Total	0,869	0,839	0,207	-0,632	-0,549

Componente Paisagem, subcomponente UQs

Atributo	1-DP _a	IE _a	VUL _a	SE _a	SE _s
LHF	0,737		0,045	0,045	
LCD	0,737		0,036	0,036	
LHTb	0,737		0,882	0,882	
LHTa	0,737		0,579	0,579	
LPTb	0,737		0,455	0,455	
cx LCD/LHF	0,737		0,055	0,055	
Pr	0,100	1,000		-1,000	
LOLb	0,100	1,000		-1,000	
LOLa	0,100	1,000		-1,000	
LMP	0,100	1,000		-1,000	
LPTa	0,100	1,000		-1,000	
LPFb	0,100	1,000		-1,000	
LPFa	0,100	1,000		-1,000	
LCRb	0,100	1,000		-1,000	
LCRa	0,100	1,000		-1,000	
Total	0,355	0,600	0,137	-0,463	-0,164

Tabela 30- Sensibilidade Ecológica do sistema a respeito dos componentes Vegetação e Paisagem. Foram ressaltados os atributos que contribuem à SE do sistema.

Entretanto, as unidades do componente Paisagem (conformadas pelos ambientes sedimentares) que mais contribuem para a SE, são aquelas cuja área superficial foi alterada de maneira permanente com empreendimentos urbanos, por cuja causa, segundo o sistema de classificação adotado, apresentam-se como em um estado de vulnerabilidade potencialmente irreversível.

6.2.VALORAÇÃO DA INTENSIDADE POTENCIAL DE EFEITOS

De acordo com a metodologia ARE, a Intensidade Potencial de Efeitos (IPE) sobre o ambiente é medida conforme a utilização, atividades ou qualquer tipo de intervenção antrópica, sem precisar uma expressão cartográfica (Salas, 2002).

Embora a metodologia verbal-argumentativa não designa valores numéricos, já houve trabalhos onde tal valoração numérica funciona bem na qualificação da Intensidade Potencial dos Efeitos Ambientais (Badel-Mogollón, 2004). Ao ver disso, a IPE foi medida a respeito do grau de alteração da paisagem a partir da medição da fragilidade dos remanescentes das Unidades Quaternárias, de acordo com uma adaptação do coeficiente da alteração da superfície da paisagem (SF).

Na tabela 31 se apresentam os resultados obtidos na medição do RE. Note-se que o sistema, conforme aos intervalos de classificação adotados, encontra-se em alto risco perante as mudanças ambientais.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 31, para o sistema se observa um risco ecológico (RE) Médio, cujos componentes que mais contribuem para o aumento do RE estão no pulso hidrossedimentológico, especialmente nos atributos relacionados com a frequência da limnofase.

Conforme esses resultados, embora a limnofase seja de curta duração (para alguns, quase imperceptível), nessa época acontecem algumas ações muito lesivas para o sistema. No campo foi observado que a caça furtiva e a extração ilegal de palmito é muito frequente e intensivo, além da pesca com rede disposta ao largo dos rios, prática que não favorece a reposição da população.

Quase no mesmo nível de contribuição para o aumento do RE é a estabilidade estrutural da camada superficial do solo. Esse aspecto é bem importante porque se relaciona diretamente com a erosão potencial a que estão submetidos os solos, sobretudo na época de

chuvas, sendo que os tipos de solos observados também contribuem para o aumento do risco ecológico, a um nível Médio-Alto.

COMPONENTES		SE _s	SF	RE _c	
Solos					
Subcomponentes					
Estabilidade	Tipo de solo	0.041	0.116	0.005	
	Estrutural do solo	0.293		0.034	
	Química do solo	-0.023		-0.003	
Vegetação					
Subcomponentes					
Riqueza de espécies		-0,331		-0.038	
	Área Basal Média/ecótopos	-0,298		-0.034	
	densidade cobertura vegetal	-0,549		-0.064	
Paisagem					
Subcomponente					
Ambientes sedimentares		-0.164		-0.019	
Hidrologia e clima					
Subcomponentes					
Limnofase					
Amplitude		-0.133		-0.015	
	Intensidade	-0.259		-0.030	
	Estacionalidade	-0.333		-0.039	
	Tensão	0.222		0.026	
	Frequência	0.333		0.039	
	Elasticidade	-0.180		-0.021	
Potamofase					
Amplitude		-0.095		-0.011	
	Intensidade	-0.222		-0.026	
	Estacionalidade	-0.200		-0.023	
	Tensão	0.095		0.011	
	Frequência	0.000		0.000	
	Elasticidade	-0.111		-0.013	
Química De Águas Sub-superficiais		0.151		0.017	
Profundidade do lençol freático		-0.084		-0.010	
RISCO ECOLÓGICO DO SISTEMA				-0.010	

Tabela 31- Risco ecológico do Sistema Bertioga, subssistemas Itaguapé e Guaratuba.

7. EMISSÃO DO CONCEITO REITOR

7.1.OBJETIVOS AMBIENTAIS ZONIFICADOS

A emissão dos objetivos ambientais para o desenvolvimento territorial foi feito com base no cruzamento da informação sobre o RE, a respeito da SE. Esse cruzamento permitiu a espacialização dos OAZ, conforme a localização georeferenciada dos atributos de cada componente. Os resultados se apresentam na figura 73.

De acordo com os Objetivos de Proteção (P1 e P2), devem ser procuradas as linhas gerais para manter e ou segurar a qualidade e a função ambiental registrada. Segundo o esquema de qualificação adotado, elas deveriam se concentrar nos ecótopos da Planície Central Intermediária, e em segundo lugar os ecótopos da faixa Frontal e da Planície Central e Distal, próximos às áreas urbanizadas.

Conforme ao mapa dos OAZ, foram classificadas as áreas de RE em *Zonas Prioritárias para o Meio Ambiente* e as *Zonas Preferenciais para o Meio Ambiente*, de acordo com o esquema apresentado na Tabela 32.

OAZ		Risco Ecológico								
		Extremo	Muito Alto	Alto	Médio-Alto	Médio	Médio-Baixo	Baixo	Muito Baixo	Sem risco
Sensibilidade	Extrema	R1	R1	R1	R1	R2	P2	P2	P2	D1
	Muito Alta	R1	R1	R1	R1	R2	P2	P2	P2	D1
	Alta	R1	R1	R1	R1	R2	P1	P2	D1	D1
	Média-Alta	R1	R1	R1	R1	R2	P1	P2	D1	D1
	Média	R1	R1	R2		R2	P1	P2	D1	D1
	Média-Baixa	R2	R2	P1	P1	P1	P1	D2	D2	D2
	Baixa	P2	P2	P2	P2	P2	D2	D2	D2	D2
	Muito-Baixa	P2	P2	D1	D1	D1	D2	D2	D2	D2
	Desprecível	P2	D1	D1	D1	D1	D2	D2	D2	D2

Tabela 32- Esquema de qualificação da matriz orientadora dos objetivos ambientais zonificados (OAZ). Adaptado de Badel-Mogollón (2004).

Legenda: R1: Reparação de Primeira Prioridade; R2: Reparação de Segunda Prioridade; P1: Proteção de Primeira Prioridade; P2: Proteção de Segunda Prioridade; D1: Desenvolvimento de Primeira Prioridade; D2: Desenvolvimento de Segunda Prioridade.

Uma das áreas mais críticas para onde se deveriam estabelecer objetivos de reparação de primeira prioridade (R1), se encontra na Planície Oriental Central, ao Leste do condomínio Morada da Praia. Essa área é um caso particular; como se sabe, ela faz parte de um resguardo indígena, pelo que esta informação poderia servir aos interesses de conservação e preservação que tal comunidade queira projetar.

Figura 73. Mapa dos OAZ, baseado na probabilidade de Risco Ecológico (RE) conforme a Sensibilidade Ecológica do sistema. No enquadramento superior direito: mapa de ecótipos, e no enquadramento inferior direito a orientação do eixo da variação espacial do RE. Escala compatível: 1:50.000.

Outra área de interesse prioritário para sua reparação é a zona da Planície Intermediária diretamente afetada pelas estradas de terra que conduzem ao aqueduto regional. Tais estradas não contam com tubulação adequada que permitam o fluxo normal das águas de desborde, pelo que aumenta consideravelmente o risco ecológico do sistema nessa localidade.

Como zonas preferenciais para o manejo do Meio Ambiente sugerem-se são ideais aquelas sugeridas para a aplicação de objetivos de desenvolvimento (D1 e D2). Contudo, nas áreas sugeridas para o estabelecimento de objetivos de proteção de segunda prioridade poderiam ser utilizadas para estabelecer objetivos de desenvolvimento, obviamente sob normas estritas de controle ambiental.

Zona integrada RAMSAR. Além do zoneamento proposto, sabe-se que grande parte da área estudada pertence a uma área de preservação chamada de Polígono Bertioga, e outra parte faz parte de uma reserva indígena, as duas espacialmente relacionadas com uma comunidade local que, junto com os indígenas, utiliza a oferta da floresta como recurso principal ou adicional de supervivência. Elas também estão relacionadas espacialmente com outra comunidade itinerante que utiliza grande parte das áreas urbanizadas como segunda residência, ou inclusive é fonte de emprego temporário para as comunidades locais.

A delimitação do Polígono Bertioga e a reserva indígena são reconhecimentos de grande importância, mas que oferece garantias de preservação ao nível local ou regional, e talvez nacional.

Mas o Sistema Bertioga cumpre com todos os quesitos para ser reconhecido no âmbito internacional como um ambiente único, por todas as características tratadas neste trabalho, pelo que também, com base nos resultados aqui obtidos, sugere-se que o Sistema Bertioga seja proposto como sítio RAMSAR, conforme também às medidas corretivas que a continuação se sugerem para sua preservação, em concordância com um uso sustentável do sistema, nos lugares onde assim fosse requerido.

7.2.MEDIDAS CORRETIVAS

A partir dos OAZ e a intensidade potencial de usos e atividades no território, sugerem-se a continuação medidas corretivas para as zonas, de acordo com as prioridades estabelecidas.

Cabe salientar que as medidas que se propõem são unicamente de caráter orientador para a administração dos diferentes setores, conforme seus interesses, e que podem ser considerados nos seus respectivos planos, políticas, programas ou projetos estratégicos.

Zonas de primeira prioridade. Sugerem-se ações encaminhadas à restauração das condições originais ou próximas a elas, dos remanescentes de vegetação e a zona úmida, também o desenvolvimento de pesquisas científicas básicas e aplicadas.

Zona de segunda prioridade. Essa área deve ser considerada de alto interesse paisagístico. Sendo que há uma população humana importante, devem ter preferência projetos comunitários de desenvolvimento sustentável. Sugere-se a incentivos para o desenvolvimento de atividades recreativas sob o marco ecológico (ecoturismo e turismo científico), e o desenvolvimento de pesquisas básicas e aplicadas.

Zonas preferenciais para o manejo do Meio Ambiente. Sugere-se a priorização de planos de manejo que incentivem a iniciativa comunitária, sob o marco do desenvolvimento sustentável, fazendo ênfase naqueles projetos que induzam mudanças nas práticas extrativas, em especial a caça, pesca e a extração de palmito.

Requerimentos. Os requerimentos são medidas similares à Vigilância Ambiental, mas que na abordagem do planejamento ecológico implicam a criação de uma estratégia do manejo do território.

As ações bem podem ser redundantes, quer dizer, servir para o alcance de diversos objetivos, mas não necessariamente atingir a mesma prioridade. Os requerimentos que se sugerem para a região são apresentados a continuação, separados por componentes:

Componente hidrológico e climático: Preservação de áreas o mais próximo ao estado natural, preservação das zonas úmidas.

Águas superficiais: Recuperação da qualidade da água, preservação das várzeas e recuperação da rede de drenagem (principalmente adequação de tubulações), conservação de áreas de retenção de inundações, tratamento de águas servidas.

Solos: Conservação da função florestal, preservação da função de habitat, recuperação de solos, conservação da sua função reguladora, fomento da cobertura vegetal, tratamento de solos poluídos.

Paisagem, vegetação e fauna: Identificação e preservação de habitats especiais, incremento da conectividade dos habitats, restauração de habitats sensíveis, preservação e ou recuperação da vegetação em núcleos urbanos, preservação das zonas úmidas, controle da caça, pesca e atividades extrativas, preservação da riqueza de espécies, controle de espécies invasoras, desenvolvimento de espaços com fins recreativos.

8. CONCLUSÕES

8.1.SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos permitiram aceitar a hipótese zero formulada para o projeto. Isso quer dizer que a sustentabilidade ambiental dos fragmentos de maciços florestais da planície costeira e baixa encosta do município de Bertioiga, no seu estado atual, estão determinadas pela sensibilidade ecológica de tais fragmentos.

Tal sensibilidade está fortemente relacionada com a tensão do pulso hidrossedimentológico, com as variáveis químicas das águas superficiais e subsuperficiais, com tipos de solos e, por fim, com a estabilidade da estrutura superficial dos mesmos. Contudo, a cobertura vegetal apresenta-se significativamente resiliente às mudanças ambientais.

As observações referentes aos aspectos relacionados com o clima (pluviosidade, balanço hídrico, etc.), indicam que o geossistema tem um caráter de azonalidade climática e paisagística, porque mistura atributos da faixa hiperúmida equatorial (Processo químicos e bioquímicos de alteração generalizada; acúmulo de sedimentos e matéria orgânica em condições de pântanos), com outros atributos inerentes à faixa úmida tropical, como os processos químicos e bioquímicos de alteração generalizada e dissecação linear da Baixa encosta e da planície.

Ainda, o padrão de circulação das águas estuarinas também é uma característica especial deste sistema, porque se assemelharia mais aos estuários de regiões temperadas, porém com elementos florísticos e faunísticos tropicais.

Essas características da região como sugerem a região como uma azonalidade climática e um enclave ecossistêmico, chamados aqui de Sistema Bertioiga.

As análises de dados climáticos indicam que, pelo menos nos últimos 10 anos, há algumas características climáticas, como o deslocamento dos meses de maior pluviosidade, que só podem ser explicadas ao nível dos fenômenos de macroescala, relacionados com as mudanças climáticas globais (MCG) e o fenômeno ENSO.

Contudo, do ponto de vista clássico, a série disponível não é o suficientemente extensa como para dar uma resposta sólida nesse sentido. No entanto, um ponto de maior relevância para o autor deste trabalho é que, do ponto de vista markoviano, esses resultados indicam sim o estado atual do sistema, e promove a região como laboratório de testes de hipóteses de longo fôlego, de tais fenômenos de macroescala.

No Sistema Bertioiga os eventos climático-hidrológicos tem um comportamento sinusoidal e de periodicidade anual (unimodal). O tempo de resposta da planície à enxurrada nas cabeceiras dos rios Itaguaré e Guaratuba é relativamente curto, e espelha um *comportamento pulsátil* do sistema, expressando gráficos análogos aos obtidos nas medições do pulso utilizando valores da vazão.

Esse comportamento pulsátil, chamado de pulso hidrossedimentológico, é pouco elástico, e cria um equilíbrio dinâmico e complexo. Esse equilíbrio dinâmico envolve tanto mecanismos e processos continentais, como marinhos. Os pulsos seguem uma distribuição normal, com frequência estacional, sendo que tal equilíbrio dinâmico se dá na amplitude (duração) entre a potamofase e a limnofase, confirmado pela valoração da sua conectividade.

Nesse pulso existe uma época relativamente curta de estresse hídrico para o sistema, que pode ser considerado como um período de déficit hídrico, em especial para a vegetação dos ambientes sedimentares diferentes às áreas paleoestuarino-lagunares. Nesse último ambiente, o NA se mantém aflorante ou subaflorante durante todo o ano.

Considera-se como déficit hídrico porque os níveis de NA são bastante profundos, em relação ao sistema radicular relativamente raso da vegetação arbórea e arbustiva. Os valores das tensões máxima e mínima indicam as fases de déficit hídrico.

A fase de déficit hídrico é atenuada pela precipitação, mas também está regida por picos de forte estresse hídrico. Conforme a média das máximas, a maior expressão de inundação na bacia chega quando atinge um P_{30} maior a 340 mm, enquanto que, conforme a média das mínimas, a expressão da fase de déficit hídrico se dá em um P_{30} menor a 39,65 mm.

Considera-se que, em termos da elasticidade da planície costeira, o tamanho relativamente pequeno dela afeta a resiliência do sistema. Qualquer alteração ou modificação (natural ou antrópica), que implique perda espacial de qualquer habitat, implica igualmente perda de elasticidade desse sistema, e conseqüentemente, afeta irremediavelmente a totalidade dos habitats.

Em outras palavras, a baixa elasticidade indica uma relativa baixa resiliência do sistema (que não é mais do que a capacidade de acúmulo de energia sem que ocorra sua ruptura desse sistema quando exigido ou submetido a algum tipo de estresse).

Contudo, por causa de ser Sistema Bertioiga um ambiente geológico poliestruturado, tal resiliência dos ecótopos é diferenciada, observando-se maior naqueles localizados sobre os

terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, e os terraços fluviais, a respeito daqueles paleoestuarino-lagunares.

A respeito dos mecanismos e processos envolvidos no pulso hidrossedimentológico, ele tem duas fases; a primeira inclui a estação úmida (potamofase), onde predominam os processos erosivos, o fluxo de matéria orgânica (viva e morta) e sedimentos, e se efetua a recarga dos aquíferos.

Nessa fase favorecessem-se as reações de redução, há uma queda do OD e, por tanto, um aumento da biodegradação da matéria orgânica e a digestão anaeróbia. Também se favorecem os mecanismos de adaptação fenológica, fisiológica e morfológica na vegetação que segue uma estratégia reprodutiva tipo “k”.

A segunda é a fase de estresse hídrico (limnofase), onde acontece basicamente um incremento das áreas secas e uma descarga dos aquíferos, um aumento da biomassa vegetal terrestre e incrementa-se a concentração de fauna terrestre, assim como se disparam processos fenológicos relacionados com a reprodução vegetal, sobretudo as relacionadas com estratégias reprodutivas tipo “r”.

Na limnofase também se desencadeiam processos tais como o aumento da concentração de oxigênio dissolvido, ativação da fase de oxidação no processo de redox, aumento da média do pH, queda dos valores de condutividade elétrica, e, em geral, uma queda da biodegradação da matéria orgânica.

Em qualquer das duas fases os sedimentos e nutrientes podem alimentar as áreas estuarinas ou sair do sistema temporária ou permanentemente, caracterizando-se assim como um sistema ecológico aberto durante a maré de quadratura, ou semifechado na maré de sizígia.

Na limnofase se desencadeiam processos tais como o aumento da concentração de oxigênio dissolvido, ativação da fase de oxidação no processo de redox, aumento da média do pH, queda dos valores de condutividade elétrica, e, em geral, uma queda da biodegradação da matéria orgânica.

A respeito dos ambientes flúvio-marinhos e sedimentares, observou-se nos primeiros que, pelos valores das variáveis físico-químicas, as áreas estuarinas correspondem a estuários de tipo positivo, cuja coluna superficial favorece processos de redução que possibilita o aumento dos teores de sulfuro de hidrogênio, metano e amoníaco, e a conversão do íon férrico a ferroso.

A cunha salina não penetra muito no sistema Bertioiga, pelo menos na sua porção superficial, pelo que não tem muita incidência nos maciços florestais do interior desse sistema.

De maior incidência na vegetação são as águas sub-superficiais, observando-se lençóis mais profundos no subssistema Guaratuba a respeito do Itaguaré.

Sobre os segundos, em geral o mosaico de ambientes sedimentares estão estreitamente relacionados com o sistema hídrico-hidrológico. Esses ambientes sedimentares criam uma variação espacial anisotrópica do lençol freático. No Sistema Bertioiga há uma grande capacidade de resposta ao pulso hidrossedimentológico, refletido na grande capacidade de armazenagem de água durante a potamofase, e de descarga dos lençóis uma vez diminui a pluviosidade.

Conforme isso, e dada à baixa elasticidade do sistema, nele tem importância tanto o fluxo lateral como o fluxo vertical da água, para a manutenção do equilíbrio dinâmico entre as duas fases do pulso. Enquanto isso, a intensidade da fase de inundação sugere que a planície costeira atua como uma armadilha de carbono.

A frequência estacional indica que a vegetação se deve adaptar a situações de estresse hídrico extremo em pelo menos dois dos cinco meses de déficit hídrico, e a uma situação de estresse hídrico moderado ou mínimo durante os outros três meses de déficit hídrico.

A respeito dos tipos de solos, como já foi sugerido por outros autores, eles evidenciam uma sequência de eventos a que foram objeto os depósitos sedimentares ao longo da sua história.

A planície frontal é dominada pelo Espodossolo Ferrihumilúvico nos terraços marinhos pleistocênicos altos e baixos, e nos terraços marinhos holocênicos. Associado a ele se encontra o Neossolo Quartzarênico, localizado nos cordões litorâneos Holocênicos.

Na planície intermediária apresenta uma variação lateral dos solos nas duas bacias, em uma sequência que inclui neossolos, cambissolos, gleissolos e espodossolos. Nessa sequência, destacam-se por sua extensão os gleissolos.

A Planície Distal é dominada pelo Neossolo Flúvico e uma área de transição com cambissolos, que compõem um tipo de depósitos mistos. Outro tipo de depósitos mistos é conformado pela associação entre cambissolo Flúvico e Espodossolo Ferrihumilúvico.

Na baixa encosta se localizam fragmentos de Latossolo Amarelo, Neossolos Regolítico e flúvico, e, por fim, Cambissolo Flúvico.

Na área paleoestuarina-lagunar, destaca-se o gleissolo Melânico e os Organossolos Fíbrico e Sápico.

A respeito da relação entre solos e ecótopos, observou-se que as florestas mais densas apresentam a maior diversidade de solos, como a Floresta Alta de Restinga Úmida, ou apresentam-se em cambissolos ou em áreas de transição entre tipos de solos, todos eles caracterizados por uma relativa maior riqueza de nutrientes (que, por exemplo, solos espódicos), ou por serem solos mais profundos e melhor drenados (que, por exemplo, os solos das áreas paleoestuarino-lagunares).

Pelo tipo de solo foi possível detectar áreas com Floresta Paludosa Antrópica, no lugar em que deveria existir Floresta Alta de Restinga Úmida. Esse tipo de floresta de fato é uma floresta cuja estrutura e composição tem sido simplificada, e não só é observada nas áreas urbanizadas, mas também no interior dos maciços florestais do interior da planície ainda aparentemente intactos.

Essa simplificação da floresta é devida, sobretudo à criação de barreiras artificiais (em especial estradas com tubulações de pouco diâmetro), que obstaculizam o fluxo lateral normal da água. Outras barreiras de igual importância que obstaculizam o fluxo lateral da água são os condomínios localizados na região, em especial o condomínio Morada da Praia.

A respeito das variáveis físico-químicas da camada superficial dos solos (0-20 cm), em geral se relacionam bem com as orientações dos eixos de declividade da planície, da rede de drenagem e da linha de costa.

Tal camada se considera de acidez entre extremamente alta a alta, baixa saturação por bases, com altos níveis de H^+ trocável e alta toxidez por Al^+ nos organossolos, gleissolos, e alguns fragmentos de espodossolo. Os solos apresentam caráter distrófico álico.

Com base na CTC efetiva, infere-se que na maior parte das Planícies Intermediária e Frontal Central e Ocidentais, especialmente nos ecótopos FaRu e FPa, têm o mais alto teor de matéria orgânica (MO) e a melhor capacidade de retenção de nutrientes e umidade, na camada superficial do solo.

Em relação aos nutrientes, os teores de P e Fe se observaram entre muito baixa e baixa na maior parte do Subssistema Guaratuba, com concentrações maiores no Itaguapé.

Ao relacionar o P com o pH, observou-se uma contradição do ponto de vista teórico, posto que se observam os maiores teores justamente nas nos ecótopos com camadas mais ácidas.

A variação espacial na camada superficial do teor de Ca^{2+} observou-se valores baixos nos ecótopos localizados na Planície Oriental, e aumentam inusitadamente para valores altos em toda a Planície Central e Ocidental. Esse comportamento é estranho do ponto de vista teórico, pelo que merece uma verificação em posteriores trabalhos.

Através deste trabalho foi possível refinar espacialmente os ecótopos existentes no sistema, a partir das imagens de satélite, a classificação dos grupos funcionais de vegetação e os sub-biomas estudados em trabalhos conexos.

Embora não se desconhece a importância dos ambientes sedimentares na formação de tais ecótopos, sua presença está estreitamente condicionada pelo funcionamento hidráulico do sistema e, obviamente, sua sustentabilidade ao longo do tempo sujeita às alterações que esse funcionamento sofra. Além dos ambientes sedimentares, a presença ou ausência de diferentes tipos de fitofissionomias depende da amplitude, da intensidade e a elasticidade do pulso.

A respeito dos subssistemas Itaguapé e Guaratuba, embora estejam interconectados, e ainda que existam semelhanças nos ecótopos que a compõem, existem diferenças significativas no seu comportamento pulsátil, pelo que muito possivelmente na atualidade também estejam evoluindo de maneira diferenciada, sendo que o subssistema Guaratuba é um pouco mais dinâmico, com maior influência da fase marinha na área estuarina, e com lençóis mais profundos na área fluvial.

A respeito da relação espacial entre os ambientes sedimentares a respeito da similaridade da cobertura vegetal, destaca-se uma forte correlação entre os geótipos LCRb/LPFa/LMP; LPTa/LPFb/LPTb, e LHTa/cx_LCD/LHF/LHF.

A respeito da fauna vertebrada terrestre, dada à proximidade espacial entre os dois subssistemas e o relativo pequeno tamanho do sistema em geral, não se espera muitas diferenças na riqueza e composição de espécies.

A respeito do contexto espacial dos solos, existem diferenças entre os subssistemas Guaratuba e Itaguapé conforme ao seguinte:

- A maior parte do subssistema Guaratuba tem uma evolução pedológica mais recente que a área paleoestuarino-lagunar localizada na divisória de águas das duas bacias.
- O ambiente pedológico é sem dúvida, mais dinâmico, complexo e diverso nesse subssistema que no Itaguapé, sendo que neste último, e ainda na área ocupada pela divisória de águas, se conservariam os depósitos sedimentares mais antigos dos dois subssistemas.

- Exceto nos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos altos e baixos, assim como nos cordões litorâneos holocênicos, os outros ambientes sedimentares não tem correspondência só com um tipo do solo, e sim com uma sequência de solos que evidenciam uma sequência de eventos susceptíveis de ser organizados cronologicamente.
- A presença de fragmentos de Latossolo Amarelo na Baixa Encosta evidencia um ambiente pretérito mais pausado, tal vez semelhante ao observado no Itaguapé.
- Esse ambiente deu origem aos solos que se observam em ambos os subssistemas, conforme a disposição espacial observada no Itaguapé (é muito provável que em amostragens futuras seja evidenciado Latossolo também no Itaguapé).
- Posterior à formação de Latossolo Amarelo, deveria ter acontecido a captura fluvial do Rio Guaratuba, que explicaria a escavação de um ou vários canais fluviais sugerida por Rossi (2007), e, por conseguinte, uma maior competência de transporte à esperada pela ocorrência de eventos de precipitação torrencial.
- Na Baixa Encosta e Planície Distal, o aumento da energia cinética do rio devinda dessa captura acarretou a formação e domínio espacial dos solos transportados (Neossolos), e, sobretudo, os depósitos mistos que se observam nas áreas de transição entre os diferentes tipos de solos.
- Os efeitos dessa captura, entre eles o desencadeamento de processos erosivos em massa no anfiteatro aí localizado, foram estendendo-se para todo o subssistema Guaratuba.
- Esses processos erosivos são evidenciados na Planície Intermediária Central pelo domínio espacial de Neossolos (Neossolo Regolítico e Neossolo Flúvico) na Planície Distal, Cambissolo Flúvico e Espodossolo Ferrihumilúvico na Planície Intermediária correspondente a esse subssistema.
- Entre tais efeitos, tem-se o já comentado dismantelamento (erosão) ou soterramento do Latossolo Amarelo na Planície Oriental Distal, sendo substituído (ou coberto) por Neossolo Regolítico na porção superior, e tal vez Neossolo Flúvico na porção imediatamente inferior.
- O Neossolo Flúvico possivelmente se desenvolveu dos sedimentos arenoargilosos ou argilosos que ocupava o Latossolo nas áreas de relevo plano-ondulado. Embora o Neossolo Flúvico seja considerado solo não saturado, pode estar sujeito a inundações nos períodos mais chuvosos.

- A disposição espacial observada dos remanescentes de Espodossolo Humilúvico do interior da planície é outra consequência dos processos erosivos que desencadeou o aumento da energia cinética do Rio Guaratuba.
- A fragmentação e dismantelamento dos terraços marinhos pleistocênicos por causa do aumento da energia cinética do rio, em conjunto com o aumento dos teores de sedimentos flúvio-continentais por essa mesma causa, possivelmente deu origem ao Cambissolo Flúvico que domina atualmente a Planície Intermediária do Guaratuba.
- Conforme foi diminuindo o impacto inicial causado pela captura, o subssistema foi entrando novamente no ambiente pausado que se observa atualmente, permitindo a evolução dos solos para os tipos atuais, mas ainda conservando um ambiente de maior energia a respeito do Subssistema Itaguaré.
- A respeito do subssistema Itaguaré, o ambiente mais pausado da Planície Intermediária Central e Ocidental, permitiu a evolução de Gleissolo Hâplico a partir de Espodossolo Ferrihumilúvico (sedimentos continentais), processo que ainda se dá nas áreas marcadas como de transição entre esses dois tipos de solo. Rossi & Queiroz-Neto (2002), na mesma bacia, porém no planalto, evidenciou a evolução do Espodossolo Ferrocárbico (Ferrihumilúvico, no sistema atual de classificação) em Gleissolo Hâplico.
- Nesse mesmo ambiente evoluiu também Gleissolo Melânico a partir de solos orgânicos (sedimentos flúvio-marinhos) que devém dos depósitos paleoestuarino-lagunares e os solos podzólicos hidromórficos.
- A disposição espacial do Espodossolo Humilúvico, localizado quase completamente nos terraços marinhos pleistocênicos, indica que se formou sobre uma ilha barreira antiga que coadjuvou a formação da uma área paleoestuarina-lagunar na sua retaguarda, que bem sofreu a sequência de eventos descrita por Rossi & Queiroz-Neto (2001).
- Depois, em algum momento houve uma movimentação tectônica (ou uma série de eventos tectônicos menores) que deu origem à área estuarina atual, evidenciada pela mesma estrutura dessa área estuarina, que delata sua origem tectônica.
- Tal vez esse mesmo evento ou série de eventos tectônicos propiciou a captura fluvial do Rio Guaratuba, criando as condições que modelaram a configuração atual da planície costeira. Embora isso, não se tem suficiente informação para desconsiderar a ocorrência da captura em um evento independente, mesmo que também pode ser produto de processos erosivos.

- Por último, como já foi observado na análise das águas superficiais e sub-superficiais, a intrusão da cunha salina dentro do subssistema Guaratuba é muito maior que a observada no Itaguaí, pelo que tal vez os solos da Planície Intermediária localizada ao Norte do sistema estuarino do Guaratuba possam ter um caráter sódico. A obtenção de testemunhos que confirmem essa sugestão seria de grande importância para complementar a informação sobre os solos do sistema Bertioga.

A respeito da avaliação ambiental do território, durante a potamofase o sistema apresenta em geral uma baixa Sensibilidade Ecológica. Porém, durante essa fase se criam as condições que deixam ao sistema especialmente sensível perante todos os componentes que incidem sobre a fragmentação dos habitats terrestres da planície (amplitude, intensidade e tensão). A elasticidade do sistema é o componente que deixa ao sistema sensível ao maior número de atributos.

Intervenções antrópicas pontuais, se não fossem feitas com as especificações adequadas, o impacto que causa é de grande extensão.

Foi observado que os Solos, como componente de avaliação, é um dos que mais contribuem á sensibilidade ecológica do território, enquanto que o alto teor de matéria orgânica se apresenta como a causa principal da atenuação de tal sensibilidade.

O estado da vegetação e a paisagem indicam que o sistema se encontra saudável, mas apenas no ponto de equilíbrio a respeito da sensibilidade ecológica do meio às mudanças ambientais.

O Risco ecológico foi qualificado como médio, especialmente por causa dos atributos relacionados com a frequência da limnofase, no pulso hidrossedimentológico, e por causa da estabilidade estrutural da camada superficial do solo.

Por último, as características de zona úmida do Sistema Bertioga permite propor a área como sítio RAMSAR, estatus que lhe confere especial atenção ao nível internacional.

8.2.PROPOSTAS METODOLÓGICAS

Ao nível metodológico, foi possível fazer um refinamento espacial das unidades quaternárias do sistema Bertioga através dos modelos numéricos de terreno da iniciativa TOPODATA. Esse refinamento espacial permitiu estabelecer limites mais precisos dos ambientes sedimentares, além de sugerir outros possíveis ambientes suscetíveis de serem mapeados à escala trabalhada (1:50.000).

A correlação cruzada de diferentes planos de informação mostrou que os resultados mais esclarecedores são obtidos no cruzamento dos mapas dos ambientes sedimentares com a imagem referente à altitude.

Por outro lado, para todas as variáveis existe uma alta correlação espacial positiva, sobretudo entre a altitude e a declividade, entretanto, não se apresenta nenhuma influência da primeira variável sobre as outras trabalhadas (forma do terreno, curvatura horizontal e vertical).

Pelas características da vegetação do sistema (dossel mais ou menos aberto inclusive nas áreas de maior densidade da cobertura vegetal), o efeito sombra não foi significativo na hora de estabelecer as classes de altitude da planície.

O refinamento espacial permitiu localizar formações vegetais simplificadas pelo processo de antropização do espaço, sugeridas dentro do trabalho como floresta paludosa antrópica (FPan).

Também foi possível separar topograficamente as planícies de maré atuais, entre altas e baixas (LOLa e LOLb), pelo que no futuro será possível diferenciar os tipos de ambientes ecológicos relacionados com esse parâmetro (manguezais de brejos, apicum, etc.).

Foi possível propor uma classificação da cobertura vegetal com base nos grupos funcionais. Essa classificação permitiu estabelecer um parâmetro espacial das áreas ocupadas pelos maciços florestais estudados, em relação aos ambientes sedimentares que ocupam.

A raiz desse cruzamento da informação foi possível um refinamento espacial dos ecótopos estudados.

Também ao nível metodológico, no presente trabalho foi proposta uma amostragem radial tanto dos solos como das águas sub-superficiais. Esse método, inspirado no método de análise da cobertura pedológica, permitiu uma grande capacidade de manobra para o levantamento de dados, e uma amostragem mais abrangente em termos de área amostrada, com um menor número de amostras coletadas.

Outra proposta metodológica está relacionada com a formulação de um modelo que explique a estabilidade da estrutura dos solos a partir do Índice de Suscetibilidade à Separação (ISP), modificado para levar em conta a probabilidade da existência de anisotropia na distribuição espacial das partículas da camada superficial de solo predominantemente mineral.

A modificação refere-se à inclusão do Índice de Dependência Espacial (IDE) de cada variável considerada (silte, areia, argila), obtido através da aplicação de técnicas geostatísticas. A escala que aqui é proposta é a seguinte:

- Valores entre 0,00 até 0,16 = Solos com Estrutura superficial totalmente instável;
- valores entre 0,16 (inclusive) até 0,22 (inclusive) = Estrutura superficial moderadamente estável;
- valores maiores a 0,22 = solos com Estrutura superficial estável.

Outra variação metodológica tem a ver com a tipificação dos valores do Quociente de Conectividade Fluvial (QCF), com a finalidade de viabilizar comparações estatísticas entre diferentes eventos, diferentes rios, e a respeito do ponto de equilíbrio dinâmico do sistema.

Propõe-se também uma função e o critério de decisão para a valoração da Sensibilidade Ecológica de um sistema, substituindo dessa maneira a valoração intersubjetiva da mesma.

Também a valoração dos componentes ambientais é proposta com base na quantificação dos seus atributos transformados a uma escala adimensional de números reais, obtida aplicando técnicas geostatísticas, a partir da análise de semivariância desses componentes, para a qual foi utilizado como interpolador o inverso da distância.

A qualificação do Risco Ecológico (RE) também foi feita com base transformações do coeficiente da alteração da superfície da paisagem e a Sensibilidade ecológica, com a finalidade de permitir comparações futuras dessa variável, entre diferentes áreas e ainda diferentes regiões.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABREU, C. A. de ; A. S. LOPES & G. C. G. dos SANTOS. 2007. Em: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C. L Eds. **Fertilidade do Solo**. SBCS, Viçosa. 1017p..

AGUDO, E.G. **Demanda bioquímica de oxigênio**. Curso Fundamentos Químicos do Saneamento. Universidade de Mackenzie. 1992.

ALLASIA, D. G.; W. COLLISCHONN; C. E. M. TUCCI, A. GERMANO; B. COLLISCHONNI; N. FAILACHE. **Modelo hidrológico da bacia do Alto Paraguai**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal de Rio Grande do Sul. On line: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/ClimaRH/download/artigo%20modelo%20BAP.pdf>. 2007.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas – BA. 2010. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf. Acesso: Junho de 2012.

ALVARES V. V.H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A.S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. Em: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5. Aproximação**. VIÇOSA: Comissão De Fertilidade Do Solo Do Estado De Minas Gerais, P. 25-32. 1999.

ARAÚJO, D.S.D. **Vegetations types of sandy coastal plains of tropical Brazil: a first approximation**. Pp. 337-347. In: U. Seeliger (coord.). Coastal plant communities of latin America. New York, Academic Press. 1992.

ARMANI, G.; TAVARES, R.; SILVA, M. G. **Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do Município de Ubatuba - SP**. Natal, RN. In: Simp. Bras. Geografia Física Aplicada, 12, Natal. Anais. Natal: Departamento de Geografia / CCHLA / UFRN, p. 747-764. CD-ROM. 2007.

AVILA, de. F. F. **Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na bacia do Córrego dos Pereiras, depressão de Gouveia/MG**. Diss. Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 135 p. 2009.

BACHFISCHER, R. 1980. **Die oekologische als Entscheidungsgrundlage fuer dier raemliche Gesamtplanung - Dargestellt am beispiel der industrieregion Mittelfranken**. En: Buchwald/Engelhardt (eds.): Handbuch fuer Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. Vol. 3, págs 26-59. Munich. Citado por Salas (2002).

BADEL-MOGOLLÓN, J. E. **Planificación ecológica del territorio complejo de islas de mompox, bolívar, colombia: Bases para un ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la planicie aluvial del río Magdalena.** Dissertação de mestrado. Instituto de Investigaciones Ecológicas (INIEC). Málaga, Espanha, 151 pp. Outubro de 2004.

BADEL-MOGOLLÓN, J. E. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas da camada orgânica superficial do solo em um ecótono cerrado-pastagem na microbacia do Rio Pântano (Selviria-MS).** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Campus de Jaboticabal. Jaboticabal SP. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/cs/m/3120.pdf>. 2007.

BADEL, J. E. M. & SOUZA, C. R. G. **Refinamento espacial com imagens de radar dos ambientes sedimentares litorâneos no município de Bertiooga (SP).** 9th International Symposium on GIS and computer Cartography for coastal Zone Management, V Congresso sobre Planejamento e Gestão das zonas costeiras dos países da Expressão Portuguesa & Seminario de Difusión de la Red Iberoamericana em Teledetección Aplicada a la prevención de riesgos geológicos litorales. Coast-GIS'09. Set-30 – out. 2, 2009. Resumo expandido. UNIVALI - Itajaí, Brasil. 2009.

BADEL-MOGOLLÓN, J. E. & SOUZA, C.R. de G. **Quantificação da perda da estrutura nas unidades quaternárias do litoral norte do município de Bertiooga, SP (Brasil) pelo processo de artificialização do espaço.** VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física/II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, Coimbra, Portugal. Anais 2010. (<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/jaime>).

BADEL-MOGOLLÓN, J. E.; SOUZA, C. R. G., L. MAHECHA. **Análisis geostadístico de las fracciones granulométricas para su uso como indicadores de complejidad y cambio ambiental en los bosques sobre depósitos pleistocénicos y holocénicos de la planicie costera del municipio de Bertiooga (Brasil), cuencas de los ríos Itaguaré y Guaratuba.** Anales del I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales, Temática Gestión para la Sostenibilidad y la adaptación al cambio Global. Cádiz (España), 25-27 de enero de 2012.

BALBINOT, R.; de OLIVEIRA N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. **O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas.** AMBIÊNCIA, Vol. 4, No 1. 2008.

BARBALHO, S. G. DA; BORGES DE C., A. **Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar.** B.goiano.geogr, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 155-170, jan./jun. 2010

BERTALANFFY, L. V. **Teoria General de los Sistemas.** 10ª ed. 1995. México : FCE.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico.** São Paulo, Instituto de Geografia USP. 27 p. (Cadernos de Ciências da Terra, 13). 1972.

BLABER, S. J. M. **“Fish in hot water”: the challenges facing fish and fisheries research in tropical estuaries.** Journal of Fish Biology, 6 (supplement A): 1-20. 2002.

BLAIN, G. CONSTANTINO; PIEDADE, S.M. de S.; CAMARGO, M. B. PAES DE & GIAROLLA, A. **Distribuição temporal da precipitação pluvial mensal observada no Posto Meteorológico do Instituto Agrônomo, em Campinas, SP.** Bragantia [online]. 2007, vol.66, n.2, pp. 347-355. ISSN 0006-8705. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200019>.

BONETTO, A. A., 1976. **Calidad de las aguas del río Paraná. Introducción a su estudio ecológico.** Dir. Nac. Constr. Port. y Vías Navegables. INCYTH-PNUD-ONU. 202 p. Buenos Aires.

BOULET, R. 1987. **Análise estrutural da cobertura pedológica e a experimentação agrônômica.** In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 21., Campinas, 1987. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.431-446. Disponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_47-48/010012903.pdf

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. **Géochime de la Surface et Formes du Relief. I- Desequilibre Pedobio-climatique dans le Couvertures Pedologiques de L’Afrique Tropicale de L’Ouest et son Role dans L’aplanissement des Reliefs.** Sc. Gel. Bull., Strasbourg, 30 (4), p. 235-243, 1977.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. 1982a. **Analyse structurale et cartographie en pédologie: I-Prise en compte de l’organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à**

La connaissance des sols. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 4:309-321. Disponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/3251.PDF

BOULET, R.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. **Analyse structural et cartographie en pédologie: III-Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique.** Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 4:341-359. 1982b.

Dsponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/3253.PDF

BRAGA da SILVA, F. G., e S. CRESTANA. **Reunião de modelos e formulações para análise de erosão de solos em bacias hidrográficas voltados ao planejamento ambiental.** Em: Bacia Hidrográfica, diversas abordagens em pesquisa. Série Ciências da Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Ciências de Engenharia Ambiental (CRHEA-SHS-EESC-USP). Evaldo Espíndola e Edson Wendland (Organizadores). Ed. Rima, 2004.

BRAGA, A. C. DE O.; C. A. MOREIRA; M. Y. CARDINALI. 2008. **Variação temporal da resistividade elétrica em contaminação por gasolina.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 27, n. 4, p. 517-525.

BRAUN-BLANQUET, J. **Fitossociologia – Bases para el estudio de las comunidades vegetales.** Madrid, H. Blume Ediciones. 1979, 440 p.

BREMICKER, M. **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells.** Dissertation Doktorgrad, Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg. Juli. Buchwald/Engelhardt (eds.): Handbuch fuer Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. Vol. 3, págs 26-59. Munich. 1998.

BUDOWSKI, G. **Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes.** Turrialba, v. 15, no. 1, p. 40-42, 1965.

BURGER M. I. **Situação e ações prioritárias para a conservação de banhados e áreas úmidas da zona costeira.** 1999. Disponível em: www.Bdt.Org.Br/Workshop/Costa. Acesso: Maio 28 de 2012.

BUSH, D.M., & YOUNG, R. **Coastal features and processes,** in Young, R., and Norby, L., Geological Monitoring: Boulder, Colorado, Geological Society of America, p. 47–67, doi: 10.1130/2009. Monitoring(03). 2009.

CABRERA, S. A.; BELTRÁN, C.; R.; P. A., J.; FRÍAS T., J.; RAMÍREZ H. J. 2000. **Calidad del agua subterránea en un campo experimental hortícola en el estado de Yucatán**. In: Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales; AIDIS. Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas. México, D.F, FEMISCA, 2000. p.1-12 [t.V], Ilus, mapas, tab.

CÂMARA, G; A. M MONTEIRO, J. S. DE MEDEIROS (ed). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2004.

CAMARERO, J. J. & ROZAS, V. **Técnicas de análisis espacial de patrones de superficies y detección de fronteras aplicado a la ecología forestal**. Investigaciones Agrarias Sistemas y Recursos Forestales, 15: 66-87. 2006.

CAMARGO, M.N.; KLANT, E. & KAUFFMAN, J.H. **Classificação de solos usada em levantamentos no Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 12 (1) : 11-33. 1987.

CAMARGOS, S. L. **Interpretação de análise de solo**. Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Departamento de Solos e Engenharia Rural. Disciplina Solos II. Cuiabá – MT. 2005.

CAMPOS, M. L.; MARCHI, G.; LIMA, D. M.; SILVA, C. A. 2005. **Ciclagem de nutrientes em floretas e pastagens**. Boletim Agropecuário - n.º 65 - p. 1-61.

CARTER, R.W.G. **Coastal Environments: An introduction to physical, ecological and cultural systems of coastlines**. London: Academic Press Inc. 1988.

CARVALHO, C. C. N.; FRANCA-ROCHA, W. ; SANTO, E. B. E. **Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol. 13 no.1 Campina Grande Jan./Feb. 2009.

CASCO , S.L., I. BASTERRA DE CHIOZZI & J.J. Neiff . **La vegetación como indicador de la geomorfología fluvial**. Rev. Bras. Geomor. - Geomorfologia Fluvial 6 (1): 123-136 p. 2005b.

CASCO, S.L., M. Neiff & J.J. Neiff. **Biodiversidad en ríos del litoral fluvial. Utilidad del software Pulso**. En: Aceñolaza, F.G. (Ed.) Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino II. Insugeo , Miscelánea 14: 105-120 p. 2005a. Disponível em: [http://www.neiff.com.ar/\(documentacion\)](http://www.neiff.com.ar/(documentacion)). Acesso: 05/06/2012.

CATEN, A. ten. **Mapeamento digital de solos: metodologias para atender a demanda por informação espacial em solos**. Tese. UFSM, RS – Brasil. Santa Maria, RS. 2011.

CEMA. 2009. **Inventário Ambiental de Guaratuba, Bertioga, SP**. Acesso: 09/05/2012. Disponível em: <http://www.federacaodeguaratuba.org.br/>.

CENTURION, J. F. & I. ANDRIOLI. 2006. **Pedologia**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal (SP), julho de 2006.

CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de Mar de Morros**. Tese. UFV – Viçosa, Minas Gerais – Brasil, 2006.

CILAS. 2011. **Particle-size-analyzer & shape analysis**. Disponível em: <http://www.cilas.com/particle-size-analysis-principles.htm>. Acesso: Fev 2, 2011.

CLEMENTS, F. E. **Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation**. Washington D.C.: Carnegie Institution of Washington. 1916.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Variáveis de qualidade das águas**. 2009.

Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#topo>. Acesso: Junho 15 de 2012.

CONESA, V. F. V.; ROS, V.; CONESA, V. R. & CONESA, L. **Guia metodológica para la evaluación del impacto ambiental**. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 275 págs. 1993.

CONTI, J. B. & SUELI A. F. **Geoeecologia, o clima, os solos e a biota**. Em: Jurandyr L. Sanches Ross (Org.). Geografia do Brasil. 5ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2005.

Disponível em: http://books.google.com.co/books?id=V5xaWPTL_IYC&printsec=front-cover&num=100&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false. Acesso: 25.04.2012.

COSTA, T. C. E. C. ; FERNANDES FILHO, E. I. **Aplicação da geoestatística para seleção de unidades de amostra independentes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Serie Documentos-Publicação Embrapa), 2004.

COUTO, T. C.; PENA N., L.; FARIA, D. C. **Análise das variáveis físico-químicas da água do rio Javaés, Ilha do Bananal, entorno do Parque Nacional do Araguaia, Tocantins, Brasil**. Em: AIDIS; Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambien-

tal. Sección Uruguay. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 30, Punta del Este, 26-30 nov. Montevideo, AIDIS, p.1-8, tab. 2006.

CUNHA, J. **Manual de solos e fertilização**. Sem data. Agro- Ministério de Agricultura, de Desenvolvimento Rural e de pesca, Portugal - Fundo Social Europeu e Estado Português. UE. Disponível em: www.forma-te.com/.../1527-manual-solo-e-fertilizacao.html - Portugal. Acesso: Junho 16 de 2012.

DAEE. **Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. 2012. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/>.

DANUSO, F.; M. S. V. DELLA MEA & G. CASTELLI. **Climatica®, an information system for climatic data management**. Department of Agricultural and Environmental Sciences University of Udine. http://www.dpvta.uniud.it/~Danuso/docs/Climatica/Climatica_Home.html, 2011.

DAY, J.W.; C.A.S. HALL; W.M. KEMP & A. YÁÑEZ-ARANCIBIA. **Estuarine Ecology**. New York, Wiley, 558p. 1989.

DRAGO, E. C. **The physical limnology of the river-lake systems of the Paraná River floodplain**. In: Sustaining the Ecological Integrity of Large Floodplain Rivers. Internat. Conference, U.S. Dep. of Interior, Nat. Biol. Survey, Univ. of Wisconsin. La Crosse WI, July 12-15, 1994.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA. 2004.

DYER, A.R., GOLDBERG, D.E., TURKINGTON, R & SAYRE, C. **Effect of growing conditions and source habitat on plant traits and functional group definition**. Functional Ecology 15: 85-95. 2001.

ELOSEGI A. & SABATER S. (eds.). **Conceptos y técnicas en ecología fluvial**. 444 páginas. Publicaciones de la Fundación BBVA. ISBN: 978-84-96515-87-1. 2009.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p. 2009

FAIRBRIDGE, R. W. **The Estuary: its Definition and Geodynamic Cycle**. In: **Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries**. E. Olausson & I. Cato (Eds.) p1-35, Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York. 1980.

FARIA, S. C. **Análise do Risco Ecológico - um método para o planejamento de bases ecológicas**. Brasília: UnB/CIORD, 1996 (mimeo).

FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. Dissertação– Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

FIGUEIREDO, S. L. & P. S. S. GORAYEB. **Análise geológica, geomorfológica e turística do parque estadual da serra dos martírios-andorinhas: potencial para o geoturismo**. Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, 2(1). Campinas, SeTur/SBE, Págs. 41-55. 2009.

FLORÊNCIO, R.V.S.; SELMO, S.M.S. **Estudo comparativo de granulometria a laser para fins da reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2006.

FLORENTINO, A. **Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos**. In: Manejo Sostenible de los Suelos, Manual de Prácticas. Facultad de Agronomía UCV. Maracay-Venezuela. pp: 68-77. 1998.

FOLK, R. L.; WARD, W C. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters**. University of Texas, Austin, TX. J. Sediment. Petrol. 27, 3-26. 1957.

FRAZÃO E. P. **Caracterização hidrodinâmica e morfo-sedimentar do estuário Potengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de hidrocarboneto**. Dissertação de Mestrado, PPGG, UFRN, 144pp. 2003.

FREIRE, F. M.; G. E. V. PITTA.; V. M. C. ALVES; G. E. FRANÇA; A. M. COELHO. **Interpretação de resultados de análise de solo**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 1 Versão Eletrônica (ISSN 1679-012) - 2ª Edição Dez./2006. Com. Téc. 43. Embrapa Sete Lagoas, MG, Dezembro, 2006.

FREITAS, R.M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A.F.; SATO, F.Y.; SHIMABUKURO, Y.E.; ROSA, R.R.; ANDERSON, L.O.; RUDORFF, B.F.T. **Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America**. Journal of Computational Interdisciplinary Sciences, 2:57-64. 2011. no prelo. (<http://epacis.org/jcis.php>).

FUNAI. **Manual ambientalista**. Programa Piloto para A Proteção das Florestas Tropicais do Brasil - PP-G7 - Programa Integrado de Proteção às Terras e Populações Indígenas da Amazônia Legal – PPTAL, Brasília, 39 págs. 2002.

GALINA, M. H & J. A. VERONA. **Fontes de observações meteorológicas no Estado de São Paulo**. Estudos Geográficos, Rio Claro, 2 (1):107-118, junho - 2004 (ISSN 1678—698X) - www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm. Acesso em: 23.03.2008.

GALVAO, S. R. da S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. de. F. **Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 43, n. 1, Jan. 2008 .

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2008000100013&lng=en&nrm=iso>. Acesso: 28 Jul 2012.

GAMA, M. DE P. **Bases da análise de agrupamentos (“Cluster Analysis”)**. Brasília: UnB, 229f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Métodos Quantitativos) - Universidade de Brasília, 1980.

GARCÍA LOZANO, L. C.; C. M. CARDONA L. **Importancia ecológica del régimen pulsátil del río Magdalena**. XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Guayaquil (Ecuador) del 21 al 25 de octubre de 1996. 1996.

GARCÍA LOZANO, L. C.; M. A. D. RUBIANO. **Dinámica de la planicie aluvial del Magdalena: factores que alteran la disponibilidad y el aprovechamiento del recurso pesquero y estrategias de recuperación**. PRONATTA / Red temática de pesca y acuicultura: recuperación y manejo de las ciénagas como una estrategia para el incremento de la producción y sostenibilidad de la pesca. Magangué, julio 27 de 2000. Disponível em: <http://www.neotropicos.org/Informes/DinamicaPl/>.

GUAPYASSSÚ, M. S. & L. P. HARDT. 1998. **Avaliação de fragilidade ambiental: uma nova abordagem metodológica para unidades de conservação de uso indireto em áreas urbanas**. Rev. Floresta e Ambiente, Vol. 5(1):55-67, jan./dez 1998.

GUEDES, D.; L. M. BARBOSA; S. E. MARTINS. **Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de restinga no município de Bertiooga, SP, Brasil**. Acta Bot. Brás. 20 (2): 299-311. 2006.

HAGEN, J. B. **Clementsian Ecologists: The Internal Dynamics of a Research School**. Osiris, 2nd Series, Vol. 8, Research Schools: Historical Reappraisals. 1993, pp. 178-195. The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/301700>

HOLLAND, M. M. (Compiler). **SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries**. Report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones. In: F. di Castri, A. J.

HANSEN & M. M. HOLLAND (eds): **A New Look at Ecotones: Emerging International Projects on Landscape Boundaries**. Biology International, Special Issue 17, 47-106. IUBS. Paris. 1988.

HOLZER, W. **Paisagem Imaginário e Identidade: alternativas para o estudo geográfico**. In: Rosendahl, Z. & Corrêa, R. L. (orgs). Manifestações da Cultura no Espaço. Rio de Janeiro: Eduerj, 248págs. págs.149-168 (Série Geografia Cultural). 1999.

HORTON, R.E. 1945. **Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology**. Bull. Geol. Soc. Am., 56:275-370.

IAC. **Informação sobre interpretação de análise de solos**. On line 2012: <http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>. 2012.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 1.ed. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 1992.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2.ed. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, (Manuais Técnicos em Geociências, 4). 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Estações Meteorológicas do Instituto Agrônomo**. Disponível em www.IAC.br, 2008.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Interpretação de resultados de análise de solos**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos ambientais. Campinas. Portal do IAC. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>. Acesso: julho 28 de 2012.

INSTITUTO EKOS. **Diagnóstico socioambiental para criação de unidades de conservação Polígono Bertioga, relatório final**. Módulo Água. 2008.

Disponível em:

http://assets.wwfbr.panda.org/downloads/diagnostico_socioambiental_para_criacao_de_unidades_de_conservacao.pdf. Acesso: 09/05/2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **História e Produtos do INMET**. disponível em <www.INMET.br>, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**, <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> Acesso 01/04/2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CBERs, Satelite Sino-Brasileiro de recursos Terrestres**. 2010. Disponível em: < <http://www.cbers.inpe.br/>>. Acesso: 20 nov. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo de imagens**. 2012. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso: Junho 12 de 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS (IPMET). **O uso do Radar meteorológico pelo IPMET**. Disponível em www.IPMET.br, 2008.

JACKSON, D.A., PERES-NETO, P.R., & OLDEN, J.D. **What controls who is where in freshwater fish communities – the roles of biotic, abiotic, and spatial factors**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 58, 157-170. 2001.

JUNK, W. J. **The Central Amazon Floodplain - Ecology of a Pulsing System**. Verlag Berlin Heidelberg New York: Springer. 525 p. 1997.

JUNK, W. J., BAILEY, P. B. & SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in river-floodplain systems**. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. v. 106, p. 110- 127. 1989.

KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G.; CAMPOS, K.C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J.L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril de 2005. INPE, p. 203-221. 2005.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo. Editora Agronômica Ceres. 262 p. 1979.

KINGSLAND, S.E. **Modeling nature: episodes in the history of population ecology**. Chicago: University of Chicago Press, 1995.

KJERFVE, B. **Estuarine geomorphology and physical oceanography**. Em: Estuarine Ecology. J. Day, C. Hall, M. Kemp & A. Yanezz-Arancibia Editores, Wiley, New York, pp. 47-78. 1989.

KLEIN, R.M. **Aspectos fitofisionômicos da Mata Pluvial da Costa Atlântica do sul do Brasil**. Boletim da Sociedade Argentina de Botânica 9: 121-140. 1961.

KUBITZA, F. **Qualidade da Água na Produção de Peixes - Parte III (Final)**. Ver. Panorama da Aqüicultura, Vol. 8, No. 47, maio/junho. 1998.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos** - Fundação Editora da UNESP, 226 pp. 1998.

LANG, S. & BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Edição traduzida ao português de Hermam Kux. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil. 2009.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management**. In: DORAN, J. W. et al. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication no. 35, Madison, Wisconsin. p. 37-51, 1994.

LAVOREL, S.; MCINTYRE, J. LANDSBERG, T. D. A. FORBES. **Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance**. Trends in Ecology & Evolution. Volume 12, Issue 12, Pages 474-478. 1997.

LEIDI, E. O. & J. M. PARDO. **Tolerancia de los cultivos al estrés salino: qué hay de nuevo**. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias, No. 2, UNR – Argentina. 2002.

LEMOES, R.C. & SANTOS, R. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 3ª ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 84p. 1996.

LEOTTI, VANESSA BIELEFELDT; A. R. BIRCK, E J. RIBOLDI. **Comparação dos testes de aderência à normalidade Kolmogorovsmirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por simulação**. 2005.

Disponível em: <http://www.posgraduacao.ufla.br/gauss/congresso/11seagro/conteudo/arquivos/205.pdf>. Acesso, 12.06.2009.

LEVINS, R. **Evolution in changing environment, some theoretical explorations**. Princeton University press, Princeton, NJ. 1968.

LIANG, X.; LETTENMAIER, D. P.; WOOD, E. F.; BURGESS, S. J. **A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models**. Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. D7, pp. 14415-14428. 1994.

LIBAULT, A. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica**. Métodos em Questão, São Paulo, n. 1, 1971.

LIKENS, G.E. & BORMANN, H. **Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems**. Biocience. 24(8): 447-456. 1974.

LINO, G. L.A **Fraude do Aquecimento Global: como um fenômeno natural foi convertido numa falsa emergência mundial**. Capax Dei Editora (3a. edição, 2011). 168 p. ISBN: 978-85-98059-12-9. 2009.

LOBO, G. A. **Rede Hidrológica Básica do Estado de São Paulo**. In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia “Adversidades Climáticas e a Produção Agrícola”, Campina Grande, 1995.

LOHMANN, D.; RASCHKE, E; NIJSSEN, B.; LETTENMAIER, D. P. **Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model**. Hydrological Sciences Journal, Vol. 43 No. 1; pp. 131-141. 1998.

LOPES, E. **As Formações Florestais de Planície Costeira e Baixa-Encosta e sua Relação com o Substrato Geológico nas Bacias dos Rios Itaguaré e Guaratuba (Bertioiga - SP)**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica-SMA - IBt, São Paulo. 76p + anexos. 2007.

LOPES, A. S. & L. R. G. GUILHERME. **Interpretação de análise do solo: Conceitos e Aplicações**. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). Boletim técnico N° 2. São Paulo – SP, Julho de 1992.

LOURENÇO, R., LANDIM, P. **Estudo da variabilidade do "índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI" utilizando krigagem indicativa**. Holos Environment, América do Norte, 4, jun. 2007.

Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/398/336>. Acesso em: 25 Ago. 2010.

MACÊDO, S.J.; K. MUNIZ & M.J. FLORES-MONTES. **Hidrologia da região costeira e plataforma continental do estado de Pernambuco**. In: E. Eskinazi-Leça; S. Neumannleitão & M.F. Costa (Eds), p. 255-286. Oceanografia, um cenário tropical. Recife, Bagaço, 761p. 2004.

MAGALHAES, V. S. & T. M. DOSSIN. **Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG)**. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais. <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-6ZQERE>. 2006.

MARQUES, J. C. **Aula teórica de Biologia Marinha: “Características gerais dos ecossistemas estuarinos”**, páginas 1-6, 8-9, 14, 19; Marques, J. C. – IMAR-CIC, Universidade de Coimbra, ano lectivo 2007/2008;

Em: <https://woc.uc.pt/botanica/getFile.do?id=4355&tipo=2>. Acesso: junho 26 de 2012. 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Second Edition. Academic Press Ltd., London. 1995.

MARTINS, V. M. **Relação solo-relevo-substrato geológico na planície costeira de Bertioğa (SP)**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2009.

MARUYAMA, S. **Aquecimento Global?**. Oficina de Textos, 128 p. ISBN: 9788586238963. 2009.

MATEO-RODRÍGUEZ, J. M. **Geografía de los paisajes**. Facultad De Geografía. Geografía de los Paisajes. La Habana, Cuba. 206 pgs. 2000.

MATEO-RODRÍGUEZ, J. M., & E. V. da Silva. **A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 01, número 01. 2002.

MENDONÇA-SANTOS M.DE L. & SANTOS H. G. DOS. **Mapeamento Digital de Classes e Atributos de Solos, métodos paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro, RJ. 2003 (Embrapa Solos. Documentos, 55). Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br>

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo**. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG. V. 3, p. 217, 220, 221 e 222, 2003.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. University Press of America, 497 p. 1976.

MILKOV, F.N. **Estudo geral da Terra** (em russo). Editorial Escola Superior, Moscou, 336 pgs. 1990.

MIRANDA, J. M.; J. F. LUIS; P. T. COSTA; F. M. SANTOS. **Fundamentos de geofísica**. Apostilha. Faculdade de ciências da universidade de Lisboa. 2000.

MIRANDA, S.A.F. **Entradas não fluviais de nitrogênio e fósforo na represa do ribeirão do Lobo**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 1997.

MITSCH, W.J. & GOSSELINK, J.G. **Wetlands**. Van Nostrand Reinhold Co. New York. 539p. 1986.

MOLION, L. C. BALDICERO. **“Desmistificando o Aquecimento Global”**. 2009. Disponível em: http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/molion_desmist.pdf. Acesso em: Julho 7 de 2012.

MONICO, J., DAL POZ, A., GALO, M., DOS SANTOS, M., & DE OLIVEIRA, L. **Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada.** Boletim De Ciências Geodésicas, 15(3). 2009.

Acesso em julho 17, 2012, de <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg/article/view/15513/10363>

MORAIS-CASTRO, J. **Mapa morfodinâmico: uma abordagem metodológica de uso de sistema de informação geográfica (SIG).** Geociências, São Paulo, 17(n.1):161-185, 1998.

MORARI, F.; LUGATO, E. & BORIN, M. **An integrated non-point source model-GIS system for selecting criteria of best management practices in the Po Valley, North Italy.** Agriculture, Ecosystems and Environment 102, p. 247–262. 2004

MOREIRA, C. A. & BRAGA, A. C. **Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural.** Eng Sanit Ambient, V.14 n.2, abr/jun 2009, 257-264. 2009.

MOREIRA, H. L., & OLIVEIRA, VIRLEI A. de. **Evolução e gênese de um Plintosolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(4), 1683-1690. 2008.

Acesso: Jul 06, 2012, Em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000400033&lng=en&tlng=pt. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400033>.

MOREIRA, M. G. **Associações entre os Solos, os Ambientes Sedimentares Quaternários e as Fitofisionomias de Planície Costeira e Baixa Encosta nas Bacias dos Rios Itaguaré e Guaratuba (Bertiooga-SP).** Dissertação (Mestrado). Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 157 p. il. 2007.

MOREIRA, M.G.; C.R.de G. SOUZA; E. A. LOPES; P. V. TORRADO. **Relações entre os compartimentos fisiográficos, os solos e as formações florestais na planície costeira das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba, Bertiooga (SP).** Em submissão, 2007.

MUCCI, J.L.N; SOUZA, A.; VIEIRA, A.M. **Estudo ecológico do Parque Guaraciaba em Santo André – São Paulo.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 9 –nº1. 2004.

NEIFF, J. J. **Ideas para la interpretación ecológica del Paraná.** Interciencia, 15(6):424-441. 1990.

NEIFF, J. J., M. H. IRIONDO, & R. CARIGNAN. **Large tropical south american wetlands: an overview**. pp. 156-165. En: LINK, G. L. and NAIMAN, R. J. (eds): The Ecology and Management of Aquatic-terrestrial Ecotones. Proceedings book, Univ. of Washington. 1994.

NEIFF, J.J. & POI NEIFF, A. **Connectivity processes as a basis for management of aquatic plants**. En: Magela Thomaz, S. Y Bini L.M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas (eds.). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, 40-58. 2002.

NEIFF, J.J. **Large rivers of South America: toward the new approach**. Verh. Internat. Verein. Limnol., 26: 167-180. 1996.

NEIFF, J.J. **El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica**. Pp. 97-145. In: Malvarez, A I & P Kandus (eds.): Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos. ORCYT-MAB (UNESCO) 224 p. 1999.

NEOTRÓPICOS. **Diseño del plan de salvamento de fauna de los bosques a inundar, aledaños al embalse Miel I**. ISAGEN S.A. – Fundación Neotrópicos, Medellín”. Documento técnico. 2001.

NICOLESCU, B. **Conferência no Congresso International "A Responsabilidade da Universidade para com a Sociedade"**. International Association of Universities, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, de 12 a 14 de novembro de 1997.

NICOLESCU, B. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. Coleção Trans. 2001. 120p.

NUNES, L.H. **Distribuição espaço-temporal da pluviosidade no Estado de São Paulo: variabilidade, tendências, processos intervenientes**. 1997. 192 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, D. de. **A captura do Alto Rio Guaratuba: uma proposta metodológica para o estudo da evolução do relevo na Serra do Mar, Boracéia - SP**. Tese de Doutorado, Depto. de Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), USP. 2003.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas. Instituto Agronômico. Rio de Janeiro, EMBRAPA-Solos. Campinas, 64p. 1999.

ORDUZ. **XI jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana y IV foro sobre Geotecnia de la sabana de Bogotá**. 2001.

OTTONI FILHO, T. B.. **Uma classificação físico-hídrica dos solos**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa , v. 27, n. 2, Apr. 2003 .

Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000200001&lng=en&nrm=iso)

06832003000200001&lng=en&nrm=iso>.

Acesso:16 Aug. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000200001>.

PAIVA, A. C. G. de; CHAVES, P. de T. da C., & ARAÚJO, MARIA E. de. **Estrutura e organização trófica da ictiofauna de águas rasas em um estuário tropical**. Revista Brasileira de Zoologia, 25(4), 647-661. 2008. Acesso: June 27, 2012, de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81752008000400010&lng=en&tlng=pt)

81752008000400010&lng=en&tlng=pt.,<http://dx.doi.org/10.1590/S010181752008000400010>

PAOLINI, J. **Carbono orgânico y particulado en grandes ríos de la América del Sur**. Interciencia, 15(6): 358-366. 1990

PEREIRA, D. S. **Análise da dinâmica hídrica nas unidades geológico-geomorfológicas quaternárias (UQ) da bacia do rio Guaratuba, Bertioga (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Programa de pós-graduação em geografia física, São Paulo – SP. 2011.

PIANKA, E. R. **On r and K selection**. American Naturalist 104, 592-597. 1970.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função da altitude e latitude**. São Paulo: USP, 1972. 20p. (Caderno Ciências da Terra, 23).

PIRES, L. A. **Ecofisiologia de espécies ocorrentes em uma floresta de restinga**. Tese de doutorado. Rio Claro, SP – Brasil. Março de 2006.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais, Programa De Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Santa Maria, RS, Brasil. 2006.

PONZONI, F. J. & Y. E. SHIMABUKURO. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 130p. 2007.

PREOBRAZHENSKII, V. S.; T. D. ALEKSANDROVA & T. P. KUPRIANOVA. **Fundamentos da análise paisagística** (em russo). Editorial Nauka, Moscou, 190 pgs. 1988.

PRIMAC. Programa Regional de Identificação E Monitoramento de Áreas Críticas de Inundações, Erosões e Deslizamentos Metropolitana da Baixada Santista - Módulo II. Disponível em: www.agem.sp.gov.br. Acesso em, 29/03/2010. 2005

PULIDO-MONCADA, M. A., LOBO-LUJAN, D., Lozano-Pérez, Z. **Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela.** Agrocienca 43, 221-230. 2009.

QUEIROZ NETO, J.P. & KÜPPER, A. **Os solos.** Em: A Baixada Santista. Aspectos geográficos. As bases físicas. São Paulo, Universidade de São Paulo, p.67-92. 1965.

QUIROGA, A., Y BONO, A. **Manual de fertilidad y evaluación de suelos.** Alberto Quiroga y Alfredo Bono Editores, 104 p. 2008.

QUIROS, R. **The Paraná river basin development and the changes in the lower basin fisheries.** Interciencia, 15(6): 442-451. 1990.

REINSON, G. E. **Transgressive Barrier Island and Estuarine Systems.** In: Walker R.G. and James N.P. (eds) Facies Models - Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada, Stittsville. p. 179- 194. 1992.

REIS, E.; **Estatística multivariada aplicada.** Lisboa: Edições Silabo, 1997. 342p.

RIZZINI, C.T. **A flora do cerrado. Análise florística das savannas centrais.** In Simpósio sobre o cerrado (M.G. Ferri, org.). Edusp, São Paulo, p.126-177. 1963.

ROCHA, P. C. **Sistemas rio-planície de inundação : geomorfologia e conectividade hidrodinâmica.** Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.33, v.1, p.50-67, jan./jul.2011.

RODRIGUES, C. **A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais.** Revista do Departamento de Geografia, 14 (2001) 69-77. 2001

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite. 26 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8). 2010.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** Revista do Departamento de Geografia. n.8, p.63-74. 1994.

ROSSI, M. & J. P. QUEIROZ NETO. **Os solos como indicadores das relações entre sedimentos continentais e marinhos na planície costeira: Rio Guaratuba (SP).** R. Bras. Ci. Solo, 25:113-120, 2001.

ROSSI, M. & J. P. QUEIROZ NETO. **Evolução de Espodossolo Ferrocárbico em gleissolo háplico no Planalto da Serra do Mar, Rio Guaratuba (SP)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 2, 2002, pp. 407-415. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Brasil. 2002

ROSSI, M. **Fatores Formadores da Paisagem Litorânea: A Bacia do Guaratuba, São Paulo, Brasil**. 168p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

ROUSE, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317. 1973.

SALAS, E. **Planificación ecológica del territorio, guía metodológica**. Departamento de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile - Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Editado por Patricia Buxton MS Comunicaciones Ltda. Santiago de Chile, 93 pp. 2002.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto ambiental, conceitos e métodos**. Oficina de Textos, São Paulo – SP. 495 págs. 2008.

SANTOS, L. J. C. **Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo**. R. Ra'ega, Curitiba, n. 4, p. 131-138. 2000. Editora da UFPR. Disponível em: ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/raega/article/download/3344/2680. 2000.

SANTOS, L.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 100p. 2005.

SANT'ANNA-NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira do Estado de São Paulo – Brasil**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia - Fflch/Usf. 1990.

Disponível em: <http://www4.fct.unesp.br/docentes/geo/joaolima/ritmo%20climatico%20e%20a%20genese%20das%20chuvas%20na%20zona%20costeira%20paulista%20-%20tese%20mestrado/home.htm>. Acesso Em 19.04.2012.

SANT'ANNA-NETO, J. L. **Dinâmica atmosférica e caráter transicional do clima na zona costeira paulista**. Revista do Departamento de Geografia. No.8. Departamento de Geografia - FFLCH – USP. www.geografia.fflch.usp.br . 1994.

SANT'ANNA-NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica.** São Paulo: USP/FFLCH, 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. 1995.

SAUCK, W.A. **A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments.** Applied Geophysics, n. 44, p. 151-165. 2000.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE de SÃO PAULO (Estado). **Entendendo o meio ambiente.** Coord. Fabio Feldmann. v.3. 24p. 1997.

SCHNACK, J. A.; F. DE FRANCESCO; C. GALLIARI; J. J. NEIFF; N. OLDANI; E. SCHNACK & G. SPINELLI. **Estudios ambientales regionales para el proyecto de control de inundaciones.** Informe Final. Ministerio del Interior (SUPCE), Buenos Aires, 149 p. 1995.

SCOTT, D. & CARBONELL, M. **Directorio de los Humedales de la Región Neotropical.** IWRB, Slimbridge; IUCN, Gland, 325p. 1986.

SENGIK, E. **Roteiros de aulas práticas, curso de Zootecnia, Solos e Adubação.** Universidade Estadual de Maringá – Paraná. 2005. Disponível em: www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/pratica.doc. Acesso em: jun 2007.

SERVICIO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS (SBRT). **Acidez do solo, Informações sobre o pH do solo.**

Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt6122.pdf?PHPSESSID=6c45831e3cafc3ad58f0b75794e44010>. On line jun 2007.

SHIMAKURA, S. **Interpretação do coeficiente de correlação.** Universidade Federal do Paraná. Laboratório de Estatística e Geoinformação (LEG). 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>>. Acesso: 19 nov 2010.

SILVA, M. C. **Estuários: critérios para uma classificação ambiental.** Em: RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 5 n.1 Jan/Mar 2000, 25-35. 2000.

SILVA, S. L. da ; S. J. F. FERREIRA; A. de O. M. FILHO; A. R. T. VITAL; J. D. V. FAJARDO; S. A. F. MIRANDA; J. A. D. de OLIVEIRA; W. K. FRANKEN & C. P. B. **Características químicas de águas de superfície e subterrânea em área de floresta primária na Amazônia central.** Anais I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, Cuiabá – 2007.

Disponível em: http://www.abrh.org.br/novo/i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste44.pdf. Acesso: Junho 15 de 2012.

SIQUEIRA, J. O. F.; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. A. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo, EMBRA-PA/CNPT. 100 p. 1987.

SOBRINHO, F. de A. **Avaliação da diversidade Florística e estrutura vegetal arbórea ocorrente nos "microbiomas" de planície costeira no município de Bertioiga (SP)**. Tese. Departamento de Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, SP. 2012.

SOCHAVA, V.B. **Introdução à Teoria do Geossistema**. Novasibéria: Nauka. 320 p. em russo. 1978.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo, Instituto de Geografia USP. 51 p. (Métodos em Questão, 16). 1977.

SOUZA, C. R. DE G.; J. E. BADEL-MOGOLLÓN. & F. DE A. P. SOBRINHO. **Avaliação geostatística dos teores de macronutrientes em solos de dois remanescentes de floresta de restinga associados a depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos na bacia do Rio Itaguapé (Bertioiga, SP)**. Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA e III Encontro do Quaternário Sul-Americano. 9 a 14 de Outubro. Búzios, Aramação de Búzios, RJ, Brasil. 2011.

SOUZA, C. R. de G. **Mapeamento de compartimentos fisiográficos de planície costeira e baixa encosta e da vegetação associada no Litoral Norte de São Paulo**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia (GO). Anais. (CD-ROM). 2006

SOUZA, C. R. de G. **Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertioiga (SP)**. XI Congresso da ABEQUA - Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Belém (PA). (CD-ROM). 2007.

Souza, C. R. G. & G. C. LUNA. **Unidades quaternárias e vegetação nativa de planície costeira e baixa encosta da Serra do Mar no Litoral Norte de São Paulo**. Rev. Do Instituto Geológico, São Paulo, 29 (1/2), págs 1-18. 2008.

SOUZA, C. R. G.; HIRUMA, S. T., SALLUN, A. E. M., RIBEIRO, R. R. & SOBRINHO, J. M. **"Restinga", conceitos e empregos do termo no Brasil e implicações na legislação ambiental**. Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo. 104 p. 2008.

SOUZA, C.R. de G. **Projeto SIIGAL: O SIGERCO para o Estado de São Paulo.** Gerenciamento Costeiro Integrado, nº 3, ano 2, p. 35-37. 2003/2004.

SOUZA, C.R. de G. **Mapeamento de compartimentos fisiográficos de planície costeira e baixa-encosta e da vegetação associada, no Litoral Norte de São Paulo.** In: Simpósio Nacional de Geomorfologia VI, Goiânia (GO), 06-10/10/2006. Anais,... CD-ROM (trabalho completo). 2006.

SOUZA, C.R. de G. 2007. **Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertiooga (SP).** XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Belém (PA). Anais (CD-ROM).

SOUZA, C.R. de G., MOREIRA, M.G., LOPES, E.A. **Coastal plain and low-medium slope sub-biomes: a new approach based on studies developed in Bertiooga (SP).** Brazilian Journal of Ecology, v. 8, p. 1-13. 2009.

SOUZA, C.R. G. **Mapeamento de compartimentos fisiográficos de planície costeira e baixa-encosta e da vegetação associada, no litoral norte de São Paulo.** VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conferense on Geomorphology. Goiânia. 2006.

SOUZA, C.R. G.; BENDAZOLI, A.; SUGIYAMA, M.; LOPES, E.A. & KIRIZAWA, M. **A relação entre o meio físico e a biota no estudo da "restinga" do Estado de São Paulo.** In: VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), Curitiba (PR), ABEQUA. Resumos Expandidos, p. 367-372. 1996.

SOUZA, C.R.G. **Atualização do Mapa de Risco à Erosão Costeira para o Estado de São Paulo.** Belém, PA. Em: Anais XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, Belém, PA, 4 a 11 de novembro de 2007.

SOUZA, E.R. & FERNANDES, M.R. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais.** Inf. Agropec., Belo Horizonte, 207: 15-20, 2000.

SOUZA, S.M.T (Ed.) **Disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais.** Hidrossistemas-Copasa, Belo Horizonte, 525p. 1995.

SOUZA-JÚNIOR, V. S. de V-T; P. G. TESSLER, M. RUIZ PESSENDA, L. C. FERREIRA, T. OSÓRIO; OTERO, X.; L. MACÍAS, F. **Evolução quaternária, distribuição de partículas nos solos e ambientes de sedimentação em manguezais do estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2007. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180214056016>> ISSN 0100-0683

SPÖRL, C. & J. L. S. ROSS. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp.39-49. 2004.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** Trans. Am. Geophys. Un., 38:913-920. 1957.

TAYLOR DE SOUZA, G.; BRICALLI, L.L.; ALMEIDA MORETO, M.; LIMA, S. E CALENTE, S. **Água: geopolítica internacional e propostas para um estudo integrado de bacias hidrográficas.** Geografares, vitória, no 3, P 79-77.jun. 2002.

TAYLOR, P.D, FAHRIG, L, HENEIN, K., & MERRIAM, G. **Connectivity is a vital element of landscape structure.** Oikos, 68, 571-573. 1993.

TAYLOR, P.D, FAHRIG, L., & WITH, K.A. **Landscape connectivity: a return to the basics.** In: K. Crooks & M. Sanjayan. Connectivity Conservation. Conservation Biology 14 (pp. 29-43). Cambridge University Press. 2006.

TEMPLETON, R. & E.D. ROTHMAN. **Evolution in Heterogeneous Environments.** The American Naturalist, Vol. 108, No. 962. , pp. 409-428. Jul. - Ago 1974.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology.** New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104 p. 1955.

THUNIS, P., & R. BORNSTEIN. **Hierarchy of mesoscale flow assumptions and equations.** J. Atmos. Sci., 53, 380–397. 1996.

UHLMANN, G. W. **Teoria Geral dos sistemas, do Atomismo ao Sistemismo (uma abordagem sintética das principais vertentes contemporâneas desta Proto-Teoria).** 2002. Versão pré-print. Em: <http://www.institutosiegen.com.br/documentos/Teoria%20Geral%20dos%20Sistemas.pdf>. Acesso em: Maio 30 de 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA). **O teste Qui-quadrado.** Disponível em: <<http://www.ufpa.br/dicas/biome/bioqui.htm>>. Acesso: 01/11/2010.

USBA. **Sedimentologia, Aula 13.** Em: www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Aula_13_Estuarios.pdf. 2011. Acesso: Junho de 2012

VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A, A. & FURTINI NETO, A.E.. **Fertilidade do Solo: Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes.** FAEPE/UFLA. 171p. 1998.

VALERIANO, M. M. & H.PRADO. **Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo.** R. Bras. Ci. Solo, 25: 997-1005, 2001.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais/ /Márcio de Morisson Valeriano.** - São José dos Campos: INPE. 2008.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento Sistêmico - O Novo Paradigma da Ciência.** SP, Campinas: Papirus. 2003.

VENICE SYSTEM. **The final resolution of the symposium on the classification of brackish waters.** Archo Oceanogr. Limnol., 11 (suppl): 243–248. 1959.

VITTE, A. C. **Paradigmas da geografia, parte I. Considerações sobre a teoria da et-chplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas.** Terra Livre, n. 16 p. 11-24 1o semestre/2001.

WERKEMA JR., D.D.; ATEKWANA, E.A.; ENDRES, A.L.; SAUCK, W.A.; CASSIDY, D.P. **Investigating the geoelectrical response of hydrocarbon contamination undergoing biodegradation.** Geophysical Research Letters, v. 30, n. 12, p. 1647-1654.2003

WHITTAKER, R. H. **A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern.** Ecological Monographs 23: 41–78, 1953.

WINGE, M. e colaboradores. **Glossário Geológico Ilustrado.** 2001. Publicado na Internet em <http://www.unb.br/ig/glossario/> e disponível em 30 de junho de 2012 . ©2001-2010.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future.** Oxford: Oxford University Press. p. 27. ISBN 019282080X. 1987.

YOUNG, A. **Tropical soils and soil survey.** Cambridge: Cambridge University Press, 468p. 1976.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** FCA/UNESP, 114 p. 2001.

10. ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO **MEDIDOR MULTIPARÂMETROS HI 9828**:

- * Gama de pH: 0.00 a 14.00 pH;
- * Resolução de pH: 0.01 pH;
- * Precisão de pH: ± 0.02 pH;
- * Gama mV de entrada de pH: ± 600.0 mV;
- * Resolução mV de entrada de pH: 0.1 mV;
- * Precisão mV de entrada de pH: ± 0.5 mV;
- * Gama de ORP: ± 2000.0 mV;
- * Resolução de ORP: 0.1 mV;
- * Precisão de ORP: ± 1.0 mV;
- * Gama de Oxigênio Dissolvido: 0.0 a 500.0% / 0.00 a 50.00 mg/L;
- * Resolução de Oxigênio Dissolvido: 0.1% / 0.01 mg/L;
- * Precisão de Oxigênio Dissolvido: 0.0 a 300.0%: $\pm 1.5\%$ da leitura ou $\pm 1.0\%$ o que for maior; 300.0 a 500.0%: $\pm 3\%$ da leitura;
- * Precisão de Oxigênio Dissolvido: 0.00 a 30.00 mg/L: $\pm 1.5\%$ da leitura ou 0.10 mg/L o que for maior; 30.00 mg/L a 50.00 mg/L: $\pm 3\%$ da leitura;
- * Gama de Condutividade: 0.000 a 200.000 mS/cm (EC actual até 400 mS/cm);
- * Resolução Manual de Condutividade: 1 μ S/cm; 0.001 mS/cm; 0.01 mS/cm; 0.1 mS/cm; 1 mS/cm;
- * Resolução Automática de Condutividade: 1 μ S/cm de 0 a 9999 μ S/cm; 0.01 mS/cm de 10.00 a 99.99 mS/cm ; 0.1mS/cm de 100.0 a 400.0 mS/cm;
- * Resolução Automática mS/cm de Condutividade: 0.001 mS/cm de 0.000 a 9.999 mS/cm; 0.01 mS/cm de 10.00 a 99.99 mS/cm; 0.1 mS/cm de 100.0 a 400.0 mS/cm;
- * Precisão de Condutividade: Precisão $\pm 1\%$ da leitura ou ± 1 μ S/cm o que for maior;
- * Gama de Resistividade: 0 a 999999 Ω /cm ; 0 a 1000.0 k Ω /cm ; 0 a 1.0000M Ω ;
- * Resolução de resistividade: Dependente da leitura de resistividade;
- * Gama de TDS: 0 a 400000 mg/L ou ppm (o valor máximo depende do fator de TDS);
- * Resolução Manual de TDS: 1 mg/L (ppm); 0.001 g/L (ppt); 0.01g/L (ppt); 0.1 g/L (ppt); 1 g/L (ppt)
- * Gama Automática de TDS: 1 mg/L (ppm) de 0 a 9999 mg/L (ppm); 0.01 g/L (ppt) de 10.00 a 99.99 g/L (ppt); 0.1 g/L (ppt) de 100.0 a 400.0 g/L (ppt);
- * Gama Automática g/L (ppt) gamas de TDS: 0.001 g/L (ppt) de 0.000 a 9.999 g/L (ppt); 0.01 g/L (ppt) de 10.00 a 99.99 g/L (ppt); 0.1 g/L (ppt) de 100.0 a 400.0 g/L (ppt);
- * Precisão de TDS: $\pm 1\%$ da leitura ou ± 1 mg/L;
- * Gama de Salinidade: 0.00 a 70.00 PSU (Gama de Salinidade Pratica alargada);
- * Resolução de Salinidade: 0.01 PSU;
- * Precisão de Salinidade: $\pm 2\%$ da leitura ou 0.10 PSU o que for maior;
- * Gama de Gravidade Específica de Água do Mar: 0.0 a 50.0 δt , $\delta 0$, $\delta 15$;
- * Resolução de Gravidade Específica de Água do Mar: 0.1 δt , $\delta 0$, $\delta 15$;
- * Precisão de Gravidade Específica de Água do Mar: ± 1 δt , $\delta 0$, $\delta 15$;

- * Gama de Pressão atmosférica: 450 a 850 mmHg; 17.72 a 33.46 inHg; 600.0 a 1133.2 mbar; 8.702 a 16.436 psi; 0.5921 a 1.1184 atm; 60.00 a 113.32 kPa;
- * Resolução de Pressão atmosférica: 0.1 mmHg; 0.01 inHg; 0.1 mbar; 0.001 psi; 0.0001 atm; 0.01 kPa;
- * Precisão de Pressão atmosférica: ± 3 mmHg entre $\pm 15^{\circ}\text{C}$ de temperatura durante a calibração;
- * Gama de Temperatura: -5.00 a 55.00°C ; 23.00 a 131.00°F ; 268.15 a 328.15K ;
- * Resolução de Temperatura: 0.01°C ; 0.01°F ; 0.01K ;
- * Precisão de Temperatura: $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$; $\pm 0.27^{\circ}\text{F}$; 0.01K ;
- * Calibração pH Automática: 1, 2, ou 3 pontos com 5 padrões memorizados (pH 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01) ou 1 padrão personalizado;
- * Calibração de ORP: Automática com 1 ponto personalizado;
- * Calibração de Condutividade/ Salinidade: Automática 1 ponto com 6 padrões memorizados ($84\text{ }\mu\text{S/cm}$, $1413\text{ }\mu\text{S/cm}$, 5.00 mS/cm , 12.88 mS/cm , 80.0 mS/cm , 111.8 mS/cm) ou ponto personalizado;
- * Calibração de O.D.: Automática 1 ou 2 pontos a 0, 100% ou ponto personalizado;
- * Calibração de Resistividade, TDS, o: Baseada na calibração de condutividade ou salinidade;
- * Calibração de Pressão Atmosférica: Automática com 1 ponto personalizado;
- * Calibração de Temperatura: Automática com 1 ponto personalizado;
- * Compensação da Temperatura: Automática de -5 a 55°C (23 a 131°F);
- * Memória de Registo: Até 60000 amostras com 13 medições cada;
- * Intervalo de Registo: 1 segundo e 3 horas;
- * Interface com o Computador: USB (com software HI 92000);
- * Proteção à prova de água: Medidor IP67, Sonda IP68;
- * Ambiente: 0 a 50°C ; HR 100%;
- * Incluso GPS.

ANEXO 2. SÍNTESE DAS DEFINIÇÕES DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS MEDIDAS PARA A QUALIDADE DA ÁGUA.

Informação	Variável			
	Temperatura (°C)	pH	ORP	OD%
Generalidades	Parâmetro físico. Variações de temperatura são parte do regime climático normal e, corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical.	Parâmetro químico. Representa a acidez ou a alcalinidade do meio e representa a quantidade de Ions H ⁺ presentes na solução e possui a representação inversa de Log, ou seja, quanto mais Ions H ⁺ , mais próximo de zero será a leitura das unidades de pH.	Parâmetro químico. O Potencial Redox é uma medida em milivolts (Mv) da concentração de oxidantes; em sistemas marinhos deve ser entre 300 e 500 Mv. Indica a condição de doar ou receber elétrons do meio, ou seja, se o meio é oxidante ou redutivo. O Redutor é aquela espécie química que tende a ceder elétrons. O Oxidante é a espécie que tende a captar esses elétrons.	Parâmetro químico. oxigênio proveniente da atmosfera que se dissolve nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. - O agente oxidante mais importante em águas naturais é o O ₂ dissolvido, (Baird, 2002). - As fontes mais importantes do O ₂ na água são: por dissolução do ar atmosférico e a fotossíntese. - estima-se a solubilidade do O ₂ em água, a 25 °C e no nível do mar, como sendo 8,6 mg L ⁻¹ .
Papel	A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas.	Normalmente, a condição de pH neutro corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios; a precipitação química de metais pesados e a oxidação química de cianeto ocorre em pH elevado, a redução do cromo hexavalente à forma trivalente e a oxidação química de fenóis ocorre em pH baixo; a quebra de emulsões oleosas se dá mediante acidificação.	- Na redução de minerais cujo subproduto é Alumínio e Ferro - Corrosão de metais do meio - Redox é uma relação entre oxigênio e nutrientes dissolvidos na água Baixo potencial redox está associado com: (a) grande produção de nutrientes e alto consumo de oxigênio no processo de oxidação, (b) baixa movimentação da água principalmente na superfície, (c) altos níveis de nitrato.	- Essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais - A mudança das camadas mais superficiais e anejadas para as camadas mais profundas e anóxicas, como resultado de processos biológicos, ocorre mais perto da superfície em sedimentos finos (vasas, areias muito finas) do que em sedimentos mais grosseiros (areias médias a grosseiras).
Relação com outras variáveis	A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. - Controla a concentração máxima de oxigênio dissolvido na água. - Duplica a velocidade das reações químicas para cada 10º. C de aumento de temperatura. - a solubilidade do O ₂ diminui com a elevação da temperatura. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam.	- Em determinadas condições de pH, contribui para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados. - Outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. - Águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes. - A coagulação e a floculação que a água sofre inicialmente é um processo unitário dependente do pH. - O equilíbrio nos teores dos carbonatos presentes são controlados pelo pH;	Na química e bioquímica da água: várias funções (como respiração) dependem dela. Relação direta com conteúdo de oxigênio; baixa concentração ou ausência de O ₂ : processos redutivos dominantes, como a respiração anaeróbica de bactérias. Contaminação (proteína de alimentos, excrementos) usualmente age de maneira redutiva; água poluída sempre tem medidas de potencial redox bem inferiores à de água não poluída.	- A solubilidade do O ₂ em água controla a concentração de O ₂ dissolvido (OD) em um corpo d'água. - A solubilidade do OD na água e outros gases apolares com interação intermolecular fraca com água, é pequena devido à característica polar da molécula de água - perdas de O ₂ são causadas pelo consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), difusão à atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias (ex. Ions metálicos). - No controle da solubilidade do O ₂ na água, a temperatura é o fator mais importante. - Oxida a matéria orgânica de origem biológica - Altas concentrações de MO reduzem o OD.

Relação com os organismos	Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.	A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.	<ul style="list-style-type: none"> - Alto conteúdo de nutrientes, com grande crescimento de algas, geralmente tem redox entre 200 mV e 300 mV. - limita a macrofauna nos sedimentos estuarinos às espécies que de alguma forma são capazes de assegurar o seu fornecimento de oxigênio (e. g. organismos tubícolas). - Em solos alagados, geram-se condições de anaerobiose (baixo potencial redox), que condiciona a presença de plantas e organismos só às espécies tolerantes. - Em solos alagados prospera a concentração de microrganismos anaeróbios, que decompõem a matéria orgânica e reduzem substâncias que incluem íon nitrato, compostos de manganês e ferro, e íon sulfato. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de concentrações de MO, aumenta a taxa de respiração de microrganismos, que a sua vez aumenta o metano e o CO₂, e reduce o OD.
---------------------------	--	--	---	---

Informação	Variável			
	Condutividade (µS/cm)	resistividade (kOhm-cm)	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT ppm)	Salinidade (PSU)
Generalidades	Parâmetro físico. Capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água. parâmetro considerado para determinar a sua potencialidade de salinizar um solo.	Parâmetro físico. Capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada.	Parâmetro físico. Conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas num líquido sob formas moleculares, ionizadas ou micro-granulares. Avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Águas doces apresentam teores que variam geralmente entre 50 e 1500 mg/l.	<ul style="list-style-type: none"> - Parâmetro químico. Medida da quantidade de sais existentes em massas de água naturais; razão entre a quantidade total de sólidos (em massa) dissolvidos e a massa da água que lhe serve de solvente - Resolução Conama: águas doces (salinidade <0,5‰), salobras (entre 0,5 e 30‰) e salinas (>30‰). - A salinidade da água dos estuários varia portanto de 0,5‰ a 35‰, sendo designada por água salobra.
Appl	Quando a fonte de íões provém de impurezas a condutividade transforma-se numa medição de pureza. Quando menor a condutividade, mais pura é a solução. Intervalo na água de irrigação: 0 - 3000 µS/cm	<ul style="list-style-type: none"> - Análise da atividade de biodegradação. - Perfis de resistividade associam-se às camadas sedimentares e estruturas geológicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Reflete os processos biogeoquímicos atuantes no sistema hidrológicos. - Valores elevados de sólidos totais dissolvidos indicam há aumento da solubilidade dos precipitados de alumínio e ferro, influenciando a cinética da coagulação. - Afeta a formação e a precipitação de CaCO₃ 	<ul style="list-style-type: none"> - Nos movimentos e na mistura das massas de água, devido ao seu efeito na densidade. - Define os limites da área estuarina, desde a desembocadura do rio até o interior

Informação	Variável			
	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	resistividade (k Ωcm)	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT ppm)	Salinidade (PSU)
Relação com outras variáveis	<p>Quanto maior for a quantidade de Ions dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O tipo de Iões presentes na água e a concentração dos mesmos; - A força iônica da água – medida existente no campo eléctrico devido aos Iões presentes na água; - Temperatura: interfere na mobilidade dos Ions afectando a condutividade das soluções. Quanto mais quente, maior a condutividade - Varia com: (1) a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, (2) a temperatura, (3) a mobilidade dos Ions, (4) a valência dos Ions e, (5) as concentrações real e relativa de cada Ion. - Em águas continentais, os principais Ions diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são: Ca, Mg, K, Na, carbonatos, carbonatos, sulfatos e cloretos. - Nas faixas extremas de pH ($\text{pH} > 9$ ou $\text{pH} < 5$), altas concentrações de poucos Ions em solução incidem nos valores de condutividade, dentre os quais os mais frequentes são o H^+ e o OH^-. 	<ul style="list-style-type: none"> - É dependente da temperatura e concentração total das substâncias ionizadas em solução. - Relação direta com metais com o aumento a temperatura; relação inversa com os semicondutores com o aumento da temperatura. - A menor nível de substâncias ionizadas, maior a resistividade. - É o inverso da condutividade 	<ul style="list-style-type: none"> - Envolvem o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio, sódio e Iões orgânicos, entre outros Iões necessários para a vida aquática. Em elevadas concentrações, podem ser prejudiciais. - aumento da turbidez da água 	<ul style="list-style-type: none"> - Os sólidos inorgânicos dissolvidos (Ions de sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloro e sulfato e bicarbonato) são os maiores contribuintes para a salinidade da água. - Relação direta com a condutividade e inversa com a resistividade, pelo que varia com: (1) a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, (2) a temperatura, (3) a mobilidade dos Ions, (4) a valência dos Ions e, (5) as concentrações real e relativa de cada Ion. - Alta salinidade produz potencial osmótico do solo negativo. - Acúmulo de solutos orgânicos diminuem os efeitos da salinidade. - Presença de Ca^{2+} pode reduzir a magnitude do efeito negativo da alta salinidade no crescimento das plantas, devido ao efeito estabilizador da membrana e à manutenção da sua capacidade seletiva (Marschner, 1995, apud Leidi & Pardo, 2002). - Diminui a concentração de O_2 dissolvido
Relação com os organismos	<ul style="list-style-type: none"> - Valores ao redor de $70 \mu\text{S}/\text{cm}$ são adequados para a manutenção e produção de peixes 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução nos valores de resistividade está correlacionado à atividade de biodegradação da matéria orgânica por organismos vivos, como bactérias aeróbicas e anaeróbicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Assoneamento de ambientes aquáticos. - Soterramento de ovos, invertebrados e peixes. - Organismos ligados às rochas são amassados pela areia e espalhados ao longo do fundo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Condicionam a fisiologia dos organismos que moram no meio. - Os organismos respondem à salinidade a diferentes níveis de tolerância. Eurihalinos: organismos que toleram um grande intervalo de salinidade; seu oposto: estenohalinos. - Plantas halófitas: tolerantes à salinidade.

Fonte:

Marschner (1995); Leidi & Pardo (2002); Werkema et al. (2003); Braga, et. al. (2008); Moreira & Braga (2009); Almeida (2010); Cunha (2012).

Sites especializados:

<http://reefsimple.wordpress.com/2009/04/20/potencial-redox-orp/>

<http://reefshow.com/html/modules.php?name=News&file=article&sid=107>

<http://www.chemguide.co.uk/inorganic/redox/definitions.html>

<http://gpaquarismo.mrforum.net/t221-potencial-redox>

<http://www.cienciaybiologia.com/ecologia/redox.htm>

ANEXO 3. MAPAS & FOTOS.

Figura 24. Primeira aproximação ao refinamento das Unidades quaternárias da área de estudo (Badel & Souza, 2009). Trabalho feito a partir das UQ's propostas por Souza (2007), com ajuda da imagem de radar SRTM (INPE, 2009).

Figura 25. Imagem de satélite (banda 3 CBERS) mostrando as áreas urbanizadas (em cinza claro) da área de estudo.

Figura 45. Imagens de satélite processadas em falsa cor que destaca: (a) Dispersão dos sedimentos na limnofase, correspondentes à maré de sizígia de 23 de agosto de 2006 (lua cheia nesse mesmo dia); (b) Maré de quadratura de 31 de março de 2008 (minguante no dia 29 de março). Na legenda, quanto maior o valor (desvio para o vermelho), maior a concentração de sedimentos. Note-se como a sizígia “potencializa” a barreira de sedimentos (emersos ou submersos) que se forma nas desembocaduras. Fonte das imagens: Serviço de imagens INPE, 2010; imagens satélite CBERS_2, Banda 2, resolução espacial: 20 m.

Figura 54. Variação da profundidade do lençol freático na área de estudo durante a potamofase (mapas de dezembro até maio) e limnofase (mapas de junho e julho) e início de uma nova potamofase (agosto). Mapas a escala compatível: 1:50.000.

Figura 54. Continuação. Variação da profundidade do lençol freático na área de estudo durante a potamofase (mapas de setembro até janeiro). Mapas a escala compatível: 1:50.000.

Figura 55. Variação espacial da salinidade no lençol freático nos subssistemas Itaguapé e Guaratuba. As áreas em azul claro indicam valores menores a 0,1 PSU. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 56. Variação espacial da condutividade no lençol freático nos subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 57. Variação espacial da resistividade no lençol nos subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 58. Variação espacial do SDT no lençol freático, e seu semivariograma correspondente. Subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 59. Variação espacial da temperatura (em °C) do lençol freático, e seu semivariograma correspondente, nos ecótipos dos subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1: 100.000

Figura 60. Variação espacial do oxigênio dissolvido (OD_{ppm}) no lençol freático, subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 61. Variação espacial do potencial redox (ORP) no lençol freático, subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 62. Variação espacial do pH no lençol freático, subssistemas Itaguaí e Guaratuba. Mapa a escala compatível: 1:50.000.

Figura 65. Mapa de solos distribuídos conforme aos ecótipos do Sistema Bertioga, subssistemas Guaratuba e Itaguaí. Escala Compatível: 1:50.000.

Figura 66. Mapas probabilísticos da variação espacial para as variáveis químicas estudadas para a camada superficial do solo (0-20 cm) no sistema Bertioga, subssistemas Itaguaí e Guaratuba. Convenções: a) pH; b)V%; c)HAL; d) m%. Escala Compatível: 1:50.000.

Figura 66. Continuação, mapas probabilísticos da variação espacial para as variáveis químicas estudadas para a camada superficial do solo (0-20 cm) no sistema Bertioja, subssistemas Itaguaraé e Guaratuba. Convenções: e) CTC efetiva; f) MO; g) SB; h) T. Escala original: 1:50.000.

Figura 66. Continuação, mapas probabilísticos da variação espacial para as variáveis químicas estudadas para a camada superficial do solo (0-20 cm) no sistema Bertioga, subssistemas Itaguaraé e Guaratuba. Convenções: i)P; j) Fe; k) Ca²⁺; l) Mg. Escala compatível: 1:50.000.

Figura 66. Continuação, mapas probabilísticos da variação espacial para as variáveis químicas estudadas para a camada superficial do solo (0-20 cm) no sistema Bertioga, subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Convenções: m) B; n) K; o) Al^{+3} ; p) Mn. Escala compatível: 1:50.000.

Figura 66. Continuação, mapas probabilísticos da variação espacial para as variáveis químicas estudadas para a camada superficial do solo (0-20 cm) no sistema Bertioga, subssistemas Itaguapé e Guaratuba. Convenções: q) Zn; r) SSO_4^{2-} . Escala compatível: 1:50.000.

Figura 67. Variação espacial dos atributos físicos com maior IDE, aos quais foram sobrepostos aos biótopos. Áreas urbanas têm apenas uma representação visual nos mapas. Círculos indicam concentrações localizadas. *Continúa...*

Figura 67. *Continuação.* Variação espacial dos atributos físicos com IDE mais alto, aos quais foram sobrepostos os biótopos. Áreas urbanas têm apenas uma representação visual nos mapas. Círculos indicam concentrações localizadas.

Figura 68. UQ's e TGF's nas planícies costeiras e baixa encosta de Bertiooga. Escala original: 1:50.000.

Figura 71. Imagem de satélite (a), mostrando a estrada de terra (b), cujo rumo é interior da planície para o sopé da Serra, cortando o percurso do Rio Itaguapé. Observa-se em (b) como se acrescenta a inundação por causa da barreira que forma a estrada, após uma chuvaram forte acontecida uma/duas horas antes; note-se que o tamanho da ponte (c) e da tubulação (d), não é suficiente para despejar de maneira adequada o excesso de água. A temporada de *déficit hídrico* é aproveitada por espécies de rápido crescimento para invadir a estrada (e), enquanto que na cheia produzem-se processos erosivos (f). Fonte: Google, Serviço de mapas, 2012 (a). Fotos: Jaime Badel (2009).

Figura 72. (a) Vestígio de antiga estrada de terra encontrada ao interior de uma floresta Alta de Restinga, ao parecer, abandonada há muito tempo atrás. Ela não resulta visível nas imagens de satélite nem fotografias aéreas (inclusive dos anos 1960). Em (b) se observam os restos de uma carroça encontrada ao interior de uma Floresta Alta de Restinga Úmida, quase no centro dela. Esse objeto é evidência de que nesse lugar, ou muito próximo a ele, houve uma estrada de terra já desaparecida, que era o suficientemente larga como para permitir a movimentação da carroça. Observe-se em (c) a densidade da mata. Fotos: (a) Eliave (2009); (b,c) J. Badel-Mogollón (2009).