UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Departamento de Geografia

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

**Ambientes de Sedimentação Continental da Planície Costeira
de Bertioga (SP): Evidências Geológicas e Geomorfológicas de
Neotectônica**

Marco Henrique Meletti de Abreu

SÃO PAULO

2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Departamento de Geografia

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

Ambientes de Sedimentação Continental da Planície Costeira de Bertioga (SP): Evidências Geológicas e Geomorfológicas de Neotectônica

Marco Henrique Meletti de Abreu

Dissertação de mestrado apresentada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Física da Universidade de São Paulo – USP,
FFLCH – Faculdade de Filosofia, Letras e
Ciências Humanas como requisito à obtenção
do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Célia Regina de Gouveia Souza

Área de Concentração: Geografia Física

Linha de Pesquisa: Geomorfologia

Agência Financiadora: CAPES

São Paulo

2017

MARCO HENRIQUE MELETTI DE ABREU

**Ambientes de Sedimentação Continental da Planície Costeira de
Bertioga (SP): Evidências Geológicas e Geomorfológicas de
Neotectônica**

Dissertação de mestrado apresentada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Física da Universidade de São Paulo – USP,
FFLCH – Faculdade de Filosofia, Letras e
Ciências Humanas como requisito à obtenção
do título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Célia Regina de Gouveia Souza
Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Avaliador I

Avaliador II

Avaliador III

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Aa ABREU, MARCO HENRIQUE MELETTI DE ABREU
Ambientes de Sedimentação Continental da Planície
Costeira de Bertioga (SP): Evidências Geológicas e
Geomorfológicas de Neotectônica / MARCO HENRIQUE
MELETTI DE ABREU ABREU ; orientadora CÉLIA REGINA DE
GOUVEIA SOUZA SOUZA. - São Paulo, 2017.
200 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São
Paulo. Departamento de Geografia. Área de
concentração: Geografia Física.

1. Indicadores Morfotectônicos. 2. Anomalias de
Drenagem. 3. Planície Costeira. 4. Bertioga; Unidades
Quaternárias. 5. Depósitos Fluviais. I. SOUZA, CÉLIA
REGINA DE GOUVEIA SOUZA, orient. II. Título.

"Quantas margens existem em um infinito mar de ideais?"

(Autor Desconhecido)

AGRADECIMENTOS

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

Primeiramente, agradeço aos meus Pais, Doroti e Marco, que sempre dispuseram de suas vidas para uma educação de qualidade, tanto para mim quanto para meus irmãos e mesmo atravessando todas as dificuldades conseguiram demonstrar a nós que a melhor arma de todas para se combater qualquer tipo de mal, sempre será ATRAVÉS DA EDUCAÇÃO!

Agradeço aos meus irmãos mais velhos, Luís Henrique e Marília, por serem um dos melhores exemplos de pessoas que pude contar e continuarei contando, "valem pititicos"!!

Agradeço também aos meus cunhados, Kelly e Cleber, por serem tão pacientes e amorosos com todos nós.

Agradeço à minha irmã Marília em especial, pois ela me proporcionou ser o titio bagunceiro de João Pedro e também por estar esperando mais um bebê lindo que está por vir e continuar enchendo nossos corações de alegria e esperança!

Agradeço muito a minha orientadora Prof(a) Dra. Célia Regina de Gouveia Souza, pelas orientações acadêmicas e pessoais, pela paciência, "pelos crocs" (puxões de orelha) e por todo tempo disponível que dedicou para que este trabalho fosse concluído. Além de sua dedicação acadêmica, foi amiga, pois sempre esteve presente nos momentos difíceis que passei e me auxiliando nos "medos" que a academia nos submete.

Ao meu amigo e geógrafo Daniel (Vai Framengo!!), por dedicar horas e horas de excelentes conversas e discussões acadêmicas e pessoais, além de também dividir comigo o espaço na moradia estudantil (Crusp).

Ao meu amigo e geógrafo Rogério (Vai Curintia!!), por dividir toda a experiência que a pós-graduação nos permite adquirir, além de todas as risadas e momentos difíceis que encontramos em nossas pesquisas.

Agradeço, especialmente a minha companheira e namorada Clareana, por dedicar todo amor e carinho, além de uma imensa paciência e por estar junto comigo me incentivando sempre a seguir em frente. Sua presença é essencial para mim. Te amo.

Agradeço a família San Martin Soto: Cezar, Viviana, Beatriz e ao Teobaldinho, por serem tão alegres e gentis comigo.

Aos meus amigos, André, Benigno, Pedro, Mateus, Carlinho e tantos outros, por estarem nos momentos divertidos e difíceis, fazendo a vida mais divertida. Peço desculpas por não poder escrever o nome de todos aqui, mais a lembrança de cada um em minha memória é a maior que qualquer palavra escrita.

A todos os professores, que fizeram parte da minha vida desde meus primeiros passos até chegar a pós graduação, sendo essenciais em minha formação profissional, cultural e também pessoal. FORÇA A TODOS OS PROFESSORES!!

À equipe de trabalho, de dentro e fora da Universidade de São Paulo que dedicaram seus esforços para que este trabalho fosse concretizado.

Aqui deixo um agradecimento especial a GEOGRAFIA, essa ciência extremamente instigante e de luta que me permitiu abrir os olhos, quebrar pré-conceitos e criar novos conceitos além de me fazer sentir amor pela pesquisa.

Agradeço a todos os lugares que percorri com minha "magrela", pois foi conhecendo novos lugares, que percebi a grandeza deste mundo em que vivemos, além de me proporcionar uma indescritível sensação de LIBERDADE! #VÁDEBIKE!!

Enfim, a todos aqui que um dia tiverem a oportunidade de ler esta dissertação, meu muito obrigado! Paz a todos!

RESUMO

A presente pesquisa está inserida nos estudos referentes à evolução quaternária dos ambientes costeiros do litoral do Estado de São Paulo (Brasil). A planície costeira de Bertioga, com extensão de aproximadamente 45 km, largura máxima de apenas 6 km e profundidade de até 100 m na parte central (presença de um hemi-gráben), é um exemplo de evolução morfotectônica e eustática, que resultou numa configuração geológico-geomorfológica complexa (Souza, 2015). Ela reúne todos os tipos de ambientes de sedimentação (Unidades Quaternárias - UQs) comuns em extensas planícies costeiras, a saber: (a) marinho-praial - praias atuais (Pr), cordões litorâneos (LHTb) e terraços marinhos holocênicos (LHTa), e duas gerações de terraços marinhos pleistocênicos baixos (LPTb) e altos (LPTa); (b) estuarino-lagunar e paludial - planícies de maré atuais (LOL) e depressões estuarino-lagunares holocênicas colmatadas, que evoluíram para ambientes paludiais atuais (LCD); (c) fluvial - terraços aluviais, barras fluviais e depósitos de leito e de planície de inundação holocênicos a atuais (LHF) e pleistocênicos (LPF), e planícies de depósitos mistos (aluviais e de colúvios de baixada/corridas de detritos) holocênicos a atuais (LMP). Vários estudos ambientais e que envolvem direta ou indiretamente aspectos sedimentológicos têm sido feitos nessa planície costeira, abordando os seguintes temas principais: mapeamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, geocronologia, hidrogeologia, neotectônica, fitossociologia e florística (vegetação) e riscos ecológicos. O presente trabalho tem por objetivo apresentar os indicadores morfotectônicos nos depósitos continentais na planície costeira de Bertioga - SP, baseada na análise e compilação de um amplo conjunto de dados disponíveis. Os parâmetros escolhidos foram: diâmetro médio e grau de seleção (em mm e em ϕ) dos sedimentos, depósitos e solos associados, identificação dos padrões morfotectônicos. Bem como a aplicação de técnicas em Geoprocessamento, para a extração automática da rede de drenagem. De maneira geral, os parâmetros granulométricos das UQs estudadas estão distribuídos da seguinte maneira: diâmetro médio - varia entre silte médio (5.74 ϕ) até areia grossa (0.33 ϕ); grau de seleção - varia de muito pobremente selecionado (3.24 ϕ) até muito bem selecionado (0.30 ϕ). Em relação aos solos associados nos ambientes fluviais e mistos são, Neossolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Tiomórficos, Cambissolos Flúvicos e Háplicos. As altimetrias dos depósitos quaternários variam de 0 a 13 m. As características principais de cada UQ são apresentadas a seguir. LHF (altitude: 2-5 m) – diâmetro médio entre 3.40-3.10 ϕ ; grau de seleção entre 0.38-0.87 ϕ ; NA entre 0,5-1,2 m; grãos sub-angulosos a sub-arredondados e lisos. LPF (altitude: 7,5-10 m) – diâmetro médio entre 4.79-0.32 ϕ ; grau de seleção entre 0.35-3.23 ϕ ; NA entre 0,5-1,5 m; grãos arredondados a sub-arredondados e lisos. LMP (altitude: 5-7 m) – diâmetro médio entre 1.08-4.37 ϕ ; grau de seleção entre 1.99-2.41 ϕ ; NA entre 0,2-1,1 m; grãos angulosos a sub-angulosos e lisos. Os resultados obtidos em campo e laboratório são apresentados iniciando-se pela caracterização da área de estudo, através das unidades geológicas quaternárias, que por sua vez são considerados exclusivas para o litoral paulista, justificando o objetivo desta pesquisa, assim, são apresetandos resultados e considerações que procuraram integrar as etapas estudadas. Assim, podemos então entender que são muitos os fatores que puderam ser interpretados a partir dos resultados gerados a partir da análises em geoprocessamento, principalmente ao analisarmos canais fluviais e suas diferentes formas de análise. Nesta etapa procuramos reforçar que as anomalias de drenagem apresentadas, nada mais são do que fortes indicadores tectônicos ou neotectônicos, quando usamos a abordagem sedimentar, no

período quaternário, reforçando como a visão da paisagem, vista pela geografia demonstra uma dinâmica ilustrativa, procurando facilitar as metodologias de análises do ambiente. As evidências granulométricas das alternâncias de energia dos agentes de transporte, águas fluviais e pluviais, promoveram o deslocamento e a deposição dos sedimentos, corroborando para a delimitar espacialmente essas unidades geológicas. Com as expedições em campo, foi possível identificar, antigos leitos de canais de rios em diversos setores da planície. Sequências de camadas de sedimentos arenosos, nas frações areias grossas e muito grossas, intercalados com grânulos e alguns fragmentos de madeira, identificados nas coletas dos sedimentos em laboratório, evidenciaram o traçado dos antigos terraços e planícies de inundação desses paleoambientes fluviais. Percebe-se que as investigações sugeridas implicam na aproximação da escala de trabalho para a melhor compreensão das relações do relevo, geologia estrutural, sedimentar e áreas afins ao conhecimento geográfico. Isso aplicaria talvez em diferentes análises locais, onde então o conjunto seria mais bem compreendido com uma boa densidade de levantamentos, porém para atingir tais ideias caberá então a novas perspectivas de análises científicas geográficas.

Palavras-chave: Indicadores Morfotectônicos; Anomalias de Drenagem; Planície Costeira; Bertioga; Unidades Quaternárias; Depósitos Fluviais.

ABSTRACT

The present research is part of the studies concerning the quaternary evolution of the coastal environments of the coast São Paulo state (Brazil). The coastal plain of Bertioga, with an extension of approximately 45 km, maximum width of only 6 km and depth up to 100 m in the central part (presence of a hemi-graben), it is an example of morphotectonic and eustatic evolution, which results in a complex geological-geomorphological configuration (Souza, 2015). It covers all types of sedimentation environments common on extensive coastal plains as (Quaternary Units - QUs), namely: (a) marine-praial - current beaches (Pr), sandsptis (LHTb) and holocene marine terraces (LHTa), and two generations of low (LPTb) and high (LPTa) marine pleistocene terraces; (b) estuarine-lagoon and paludial - current tide plains (LOL) and colmated holocene estuarine-lagoon depressions, which evolve to current paludal environments (LCD); (c) fluvial - alluvial terraces, sediments of riverbanks and holocene to the latest floodplain (LHF) and Pleistocene (LPF), mixed sediment plains (alluvial and lowland colluvial deposits /debris courses) holocene to the latest (LMP). Several environmental studies that embrace direct or indirectly sedimentological aspects in the coast plain approach the following mean matters: geological, geomorphological and pedological mapping, geochronology, hydrogeology, neotectonics, phytosociology and floristics (vegetation) and ecological risks. The study aims to present the morphotectonic indicators in the continental sediments of Bertioga coastal plain, based on the analysis and compilation of a great data set available. The baseline studies chosen were: average diameter (in mm) and selection degree (in phi) of sediments, deposits and associated soils, and the identification of morphotectonic patterns, as well as an application of techniques in Geoprocessing for an automatic extraction of the drainage network. In overall, the granulometric baselines of the studied QUs are distributed as follows: average diameter - varies between average silt (5.74 fi) to coarse sand (0.33 fi); selection degree - varies from very poorly selected (3.24 fi) to very well selected (0.30 fi). Concerning the associated soils in fluvial and mixed environments they are, Fluvial Neosols, Háplic and Tiomorphic Gleysols, Fluvial and Háplic Cambisols. The quaternary deposits altimetry varies from 0 to 13 m. The main characteristics of each QU are presented as follows: LHF (altitude: 2-5 m) - average diameter between 3.40-3.10 fi; selection degree between 0.38-0.87; NA between 0.5-1.2 m; sub-angled to sub-rounded and smooth grains. LPF (altitude: 7.5-10 m) - average diameter between 4.79-0.32 fi; selection degree between 0,35-3,23 fi; NA between 0.5-1.5 m; rounded to sub-rounded grains. LMP (altitude: 5-7 m) - average diameter between 1.08-4.37 fi; selection degree between 1.99-2.41 fi; NA between 0.2-1.1 m; sub-angled to sub-rounded and smooth grains. The results obtained in the field and in laboratory are defined by the description of the study area, by means of the quaternary geological units, which are considered exclusive for the coast of São Paulo, thus, justifying the objective of this research, the results and considerations presented aimed to integrate the steps studied. Therefore, we can observe that there are many factors that could be interpreted from the analyzes results in geoprocessing, mainly when examining channels and their different forms of analysis. In this phase we tried to reinforce the drainage anomalies presented, they are nothing more than strong tectonics or neotectonics indicators, when we use a sedimentary approach, in the quaternary period, stressed by a landscape view seen by geography, it demonstrates an illustrative dynamic, seeking facilitates the methodologies of environment analysis. The grain size evidence of the energy alternations of transport agents, fluvial waters and rainwaters, promoted the sediment displacement and deposition, corroborating spatial delimitation of these geological units. With the expeditions on the field, it was possible to identify

old river channel beds in several plain areas. Sequences of sandy sediment layers in the thick and coarse sand fractions, interspersed with granules and some wood fragments, identified in the sediment collection in laboratory study, evidenced the tracing of old terraces and floodplains of fluvial paleoenvironments. It is noticed that the suggested investigations imply the approximation of the work scale for a better understanding of the relief, structural and sedimentary geology relations and areas related to geographic knowledge. This would, perhaps, apply in different local analyzes, where the set would be better understood with a good density of surveys, but to reach such ideas shall be necessary new perspectives of geographic scientific analysis.

Keywords: Morphotectonic Indicators; Drainage Anomalies; Coastal Plain; Bertioaga; Quaternary Units; Fluvial deposits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O Rifte Continental do Sudeste Brasileiro	6
Figura 2: Mapas de isoietas	7
Figura 3: Localização de áreas com sismos no território brasileiro	8
Figura 4: Mapa da Neotectônica no Brasil	9
Figura 5: Arcabouço tectônico do Sudeste brasileiro.....	10
Figura 6: Legenda de indicadores morfotectônicos.....	14
Figura 7: Captura fluvial por transbordamento	17
Figura 8: Captura fluvial por recuo de cabeceira	18
Figura 9: Área de estudo.....	22
Figura 10: Modelo evolutivo da planície costeira de Caraguatatuba	25
Figura 11: Unidades Geológicas-Geomorfológicas Quaternárias da planície costeira dos rios Itaguapé e Guaratuba.....	26
Figura 12: Interpretação de perfil sísmico realizado na parte central da planície costeira do Itaguapé, sobre a depressão paleolagunar-estuarina (LCD).....	31
Figura 13: Mapa da planície costeira de Bertioga esboçando o último máximo transgressivo (Transgressão Santos).....	33
Figura 14: Mapa de Localização dos Depósitos Continentais.....	34
Figura 15: Perfil estratigráfico baseado no testemunho de sondagem Madal-01.....	36
Figura 16: Perfil estratigráfico baseado no testemunho de sondagem Madal-02.....	38
Figura 17: (a) Perfil esquemático do Piezômetro, no LPF . (b) Perfil esquemático do Piezômetro em LMP	41
Figura 18: Representação do conjunto de funções pertencentes ao Spatial Analyst Tools	47
Figura 19: Rede de fluxo a partir das Bacias Hidrográficas geradas.....	48
Figura 20: Determinação de direção de fluxo.	49
Figura 21: Depressões identificadas ao longo do MDS	50
Figura 22: Identificação dos canais conforme sua hierarquia	51
Figura 23: Comprimento de Fluxo	52
Figura 24: Procedimentos de campo, sonda Geoprobe, vista da área e liners de 1,5 m amostrados em LPF – Testemunho Madal-01	54

Figura 25: Vista da área, procedimentos de campo (fechamento do liner) e liners amostrados em LMP – Testemunhos Madal-02	55
Figura 26: Ferramenta de corte utilizada para abrir os liners	56
Figura 27: Ferramenta protótipo construída pelo Sr. Nelson Meletti Filho e resultado da abertura de um liner	56
Figura 28: Ferramenta de corte e estrutura de apoio de liner idealizadas e construídas pelo Engo. Manuel Luiz Gouveia, e resultado da abertura.	57
Figura 29: Descrição visual dos sedimentos do testemunho Madal-01 (1,5-3,0m), com auxílio de escala granulométrica transparente	58
Figura 30: Coleta de fragmento de madeira para fura datação por radiocarbono	59
Figura 31: Gráfico de dados de difusão de luz	64
Figura 32: Detalhe do Mapa de Drenagem gerado automaticamente sobre o MDS obtido a partir de ortofotos 1:10.000 na bacia do Rio Guaratuba.....	67
Figura 33: Método Vertical Line Locus	70
Figura 34: Possível controle estrutural no desmonte erosivo da falésia em terraço marinho baixo pleistocênico na desembocadura do Rio Itaguaré	75
Figura 35: Evolução da captura do Rio Guaratuba.....	77
Figura 36: Principais tipos de padrões de drenagem	80
Figura 37: Distribuição Granulométrica - Madal 01	92
Figura 38: Distribuição Granulométrica – Madal 02.....	96

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Mapa do Modelo Digital de Terreno (MDT)	73
Mapa 2: Lineamentos de Drenagem.....	78
Mapa 3: Exemplos de assimetria de bacia de drenagem (círculos vermelhos) e a localização da captura fluvial do Rio Guaratuba.....	79
Mapa 4: Anomalias de Drenagem - Folha 1: Bacia do Rio Itaguaré.....	82
Mapa 5: Anomalias de Drenagem - Folha 2: Bacia do Rio Itaguaré.....	83
Mapa 6: Anomalias de Drenagem - Folha 3: Bacia do Rio Guaratuba	85
Mapa 7: Anomalias de Drenagem - Folha 4: Bacia do Rio Guaratuba	87
Mapa 8: Anomalias de Drenagem- Folha 5: Bacia do Rio Guaratuba	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Feições morfotectônicas e sistemas de juntas mapeadas na planície costeira de Bertioga e prováveis esforços tectônicos associados.....	75
Quadro 2: Representação de controles e padrões de drenagens.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas com presença de feições morfotectônicas nas planícies costeiras paulistas e prováveis esforços tectônicos associados.	12
Tabela 2: Características ambientais associadas a essas UQs	30
Tabela 3: Características geológicas-geomorfológicas, pedológicas, hidrogeológicas e da vegetação associada aos ambientes de sedimentação continental presentes nas bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba.	43
Tabela 4: Frequência numérica dos sistemas de lineamentos de drenagem identificados nas bacias de estudo.....	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Bacias Hidrográficas e Planícies Costeiras no Contexto da Abordagem Sistêmica em Geomorfologia.....	3
2.1.1 A Morfotectônica e seus Indicadores na Paisagem	4
2.1.2 Aplicação das Geotecnologias, Fotografias Aéreas e os Modelos Digitais de Terreno (MDS)	18
2.2 Análises Granulométricas por Granulômetro a Laser.....	20
3. ÁREA DE ESTUDO	22
3.1 Localização.....	22
3.2 Contexto Geológico-Geomorfológico	23
3.2.1 Unidades Quaternárias da Planície Costeira e Baixa-Média Encosta	23
3.3 Síntese da Evolução da Planície Costeira nos Ambientes Depositionais Continentais das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba.....	31
3.3.1 Ambientes deposicionais continentais das bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba: Evidências de neotectônica.....	34
3.3.2 Depósitos Continentais das bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba: Características texturais, hídricas, pedológicas e a vegetação associada	40
4. MATERIAS E MÉTODOS.....	44
4.1 Trabalhos de Escritório.....	44
4.2 Trabalhos de Campo	44
4.3 Trabalhos de Laboratório.....	45
4.3.1 Identificação de anomalias de drenagem.....	45
4.3.2 Abertura e descrição dos testemunhos de sondagem.....	53
4.3.3 Análises granulométricas.....	59

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
5.1 Anomalias de Drenagem	66
5.2 Descrição Visual dos Testemunhos de Sondagem Geológica e Análises Granulométricas.....	89
5.2.1 Descrição visual do testemunho Madal-01	89
5.2.2 Análises granulométricas do testemunho Madal-01	91
5.2.3 Descrição visual do testemunho de sondagem geológica Madal-02.	94
5.2.4 Análise granulométrica do testemunho Madal-02.....	95
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
7. REFERÊNCIAS	103
ANEXO 01	111
ANEXO 02	113
ANEXO 03	115
ANEXO 04	151

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira brasileira, com aproximadamente 9.000 km de extensão, apresenta enorme variedade de ambientes de sedimentação de idade Quaternária, sendo eles de origem marinha, continental, eólica, estuarina e lagunar. Ao direcionar nossos olhares aos sistemas deposicionais quaternários, começamos a compreender, os diferentes tipos de heranças geológicas e geomorfológicas, essenciais para a compreensão da ciência geográfica.

No Brasil, os estudiosos do Quaternário têm abordado a evolução e dinâmica geológica-geomorfológica- das planícies costeiras de maneira distinta e detalhada, concentrando esforços na identificação e compreensão dos mecanismos naturais de gênese e evolução das mesmas. Esses mecanismos, por vezes bastante complexos, envolvem interações entre oscilações eustáticas, variações climáticas e movimentos tectônicos (Suguio et al., 1985, 2005; Suguio e Martin, 1996; Angulo; Lessa, 1997, Martin et al. 2003; Bezerra et al., 2003; Angulo et al., 2006; Dillenburg e Hesp, 2009, Souza, 2015).

Essa complexidade de mecanismos evolutivos parece ser característica da planície costeira de Bertioga, município localizado no setor norte da Região Metropolitana da Baixada Santista. Segundo Souza (2015), em uma pequena área de aproximadamente 240 km² com largura máxima de 6 km, afloram quase todos os ambientes de sedimentação e formações marinhas quaternárias encontrados no litoral brasileiro e se esconde uma coluna sedimentar que atinge mais de 100 m de espessura na parte central da planície, encaixada num hemi-graben. Segundo a autora, durante sua evolução quaternária, a região foi palco de alguns ciclos de oscilações do nível relativo do mar (NM), atividades tectônicas e variações climáticas.

Neste contexto, um evento específico chama a atenção - a captura fluvial do Rio Guaratuba. O fenômeno foi identificado por Rossi (1999) e posteriormente estudado por Oliveira (2003) e Neves (2012), que atribuíram causas relacionadas a processos erosivos. Souza (2015) retomou o tema estudando seus efeitos no registro sedimentar da planície costeira do Rio Guaratuba e, corroborando as interpretações de Ribeiro et al. (2006), concluiu que a captura fluvial teve origem tectônica, e teria ocorrido no final do Pleistoceno.

Um fenômeno como esse traz diversos impactos em nível local e regional, como desequilíbrios no regime de escoamento superficial e incremento no balanço sedimentar, traduzidos pelo aumento repentino de volume de água e de carga sedimentar fluviais, que necessitam ser reacomodados (Souza, comunicação verbal). E a complexidade dos impactos aumenta à medida em que interagem com um cenário de elevação do NM, que implica na diminuição dos espaços para essa reacomodação, e de neotectônica, como postulado por Souza (2015).

O presente estudo se insere nesse contexto de evolução dos ambientes de sedimentação continental localizados ao fundo da planície costeira do Rio Guaratuba, e na busca de evidências geológicas e geomorfológicas que corroborem as hipóteses de Souza (2015) sobre essa evolução. Essas evidências compreendem indicadores denominados morfotectônicos.

A morfotectônica como apontada por Summerfield (1986), Doornkamp, (1986), Saadi (1991) e (1999), que em condições de superfície dedica-se ao estudo das relações de causa-efeito entre a atividade tectônica e gênese do relevo ou geomorfogênese, desta forma os autores apontam que os efeitos geomorfológicos da atividade tectônica, reservando o termo morfoestrutural para as formas de relevo adaptadas a partir do momento de sua formação, à presença de estruturas geológicas passivas, estabilizadas, incluindo as falhas formadas ao longo dos processos, assim corroborando para o que havia identificado por Mescherikov (1968).

O objetivo geral deste estudo é compreender e estabelecer relações entre os indicadores morfotectônicos formadores dos ambientes de sedimentação continental presente nas bacias hidrográficas dos rios Guaratuba e Itaguaré (Bertioga, SP).

Os objetivos específicos são:

- (a) identificar e analisar anomalias de drenagem e relevo presentes nas bacias dos rios Guaratuba e Itaguaré;
- (b) caracterizar os sedimentos de dois testemunhos de sondagem coletados em depósitos continentais pertencentes a Unidades Quaternárias localizadas na bacia do Rio Guaratuba.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados os conceitos necessários para o entendimento da pesquisa.

2.1 Bacias Hidrográficas e Planícies Costeiras no Contexto da Abordagem Sistêmica em Geomorfologia

Sistema ou Teoria dos Sistemas pode ser definido como um conjunto de objetos ou atributos e suas relações, afim de organizar funções particulares (Mendonça, 2005). Desenvolvida nos Estados Unidos, no final do século XX, o conceito foi aplicado a princípio aos estudos de Termodinâmica e Biologia. Tansley (1937) utilizou a teoria para criar o conceito de Ecossistema, que mais tarde influenciou fortemente os estudos geomorfológicos e o pensamento geográfico.

São muitas as publicações que se voltam aos conteúdos que dão conta de esclarecer a evolução da história e paradigma geomorfológico. Partindo de autores clássicos, como Davis, Penk e King, que em estudos no clima temperado, inauguram a ênfase nos processos físicos e mecânicos que promoveriam a ação da morfogênese na modelação das paisagens. Até a mudança de paradigma com Budel (1957), onde em estudos na África, se depara com outros agentes e processos devido ao clima tropical, colocando a desagregação química como um dos fatores que agem e comandam paralelamente à estes mesmos processos.

Para uma melhor representação de como funciona a Teoria dos Sistemas, CHRISTOFOLETTI (1979) propôs um esquema, onde as partes que compõem um sistema se dividem em elementos ou unidades, relações, atributos, entradas (*input*) e saídas (*output*). A entrada é formada pela energia solar e sua distribuição, e a saída abrange tudo o que pode ser percebido ao nosso redor e mais além.

A classificação de sistemas apresenta ciclos, divididos em isolados ou não isolados. Os ciclos isolados são aqueles que fecham em si mesmos um ciclo de atividades, exemplificando o processo de erosão apresentado por Davis no início do século (no soerguimento da superfície há um excesso de energia livre que é sutil no

estágio final do processo). Já os sistemas não isolados são todos aqueles que mantêm relações com os demais, podendo ser fechados, como por exemplo, o ciclo hidrológico, ou abertos (morfológicos, em sequência, processos-respostas, controlados, etc) (Mendonça, 2014).

Nos sistemas abertos os elementos interagem sob o mecanismo de fluxo de massa e energia, e qualquer estimulação em qualquer elemento do sistema afetará os demais elementos devido ao intercâmbio entre eles. Portanto, existirá sempre uma afinidade de causa e efeito entre os diferentes componentes do sistema. O sistema reagirá sempre globalmente a qualquer estímulo produzido em qualquer unidade. Nesse sentido, as paisagens e as bacias de drenagem são consideradas como sistemas abertos.

Os sistemas geomórficos estão relacionados aos sistemas naturais que formam as paisagens, no sentido restrito. Constituem um complexo integrado de formas de relevo que operam segundo características discerníveis (Chorley & Hagget, 1975). Podem ser subdivididos em subsistemas, como, por exemplo, as bacias hidrográficas e as planícies costeiras.

2.1.1 A Morfotectônica e seus Indicadores na Paisagem

A formação dos sistemas de relevo e da rede de drenagem está diretamente vinculada à interação entre processos exógenos (dinâmica externa do planeta) e endógenos (tectônicos e estruturais).

No campo da Geomorfologia, a Geomorfologia Estrutural é aquela que abrange as relações entre as rochas e as estruturas com a paisagem. Atualmente, a Geomorfologia Estrutural clássica está embutida na Geomorfologia Tectônica (Burbank e Anderson, 2001), referida por estes autores como Formas Estruturais. A Geomorfologia Tectônica tem como tema central a competição entre os processos tectônicos que constroem o relevo e os processos de superfície cuja tendência principal é destruir o relevo. Vem dela o termo Morfotectônica, que se refere aos estudos que abrangem de forma geral as influências da tectônica recente ou Neotectônica na gênese das formas (DOORNKAMP, 1986).

A Neotectônica é um campo de conhecimento interdisciplinar dentro da Geologia, que engloba dados e utiliza métodos de Geologia Estrutural, Sismologia,

Geotectônica, Geofísica, Geomorfologia, Sedimentologia, Estratigrafia, Geodésia, Geotecnia e Arqueologia.

O termo Neotectônica foi introduzido por Obruchev (1948), para definir os movimentos da crosta terrestre que ocorreram durante o Terciário Superior e o Quaternário, e que assumiram papel decisivo na formação da topografia contemporânea. O autor sugeriu a seguinte classificação: a) Movimentos Alpinos: Cretáceo até hoje; b) Movimentos Recentes: Plioceno até hoje, ou os movimentos neotectônicos propriamente ditos; c) Movimentos Modernos: desenvolvidos atualmente.

Outros autores se seguiram e, até hoje não existe consenso sobre qual é o período a que se refere a Neotectônica. Entretanto, a maioria assume como limite inferior do “período neotectônico” o início do Neógeno, há mais de 20 milhões de anos (Mioceno). É consenso também que a idade do início dos movimentos neotectônicos pode variar de acordo com a região estudada e a sua posição em relação à borda da placa tectônica na qual ela se insere (e.g. Hancock e Willians, 1986).

Trifonov (1989), em extensa revisão sobre os conceitos individuais de cada ambiente geológico de estudos neotectônicos soviéticos, demonstrou que as atividades tectônicas ocorreram mesmo a partir do Neógeno, particularmente no Quaternário Superior (Holoceno). Já para Summerfield (1991), Neotectônica estaria relacionada aos processos e efeitos da atividade tectônica do final do Cenozóico. Para Sengör et al. (1982) o objeto de estudo da neotectônica é relacionado aos movimentos tectônicos mais novos da história geológica, isto é, os movimentos relativos ao campo de tensão (stress) ou regime tectônico em vigor desde a última reorganização tectônica principal em escala regional. Pavlides (1989), corroborando Sengör (1982) definiu a vigência do período neotectônico como iniciada "após a orogênese final, ou após sua reorganização tectônica mais significativa da região". Stewart e Hancock (1994) consideraram que a neotectônica corresponderia ao estudo dos movimentos que ocorreram no passado e continuam ocorrendo no presente sem um limite inferior rígido. Segundo esses autores, os movimentos neotectônicos estariam relacionados ao regime tectônico atual, os quais poderiam reativar ou não estruturas, sempre dentro de um campo de esforços (tensão) e de deformação que tem persistido sem mudanças significativas de orientação ao longo do tempo.

A União Internacional de Estudos do Quaternário (INQUA) utiliza o conceito definido por Mörner (1978), como sendo: “qualquer movimento ou deformação do nível

geodésico de referência, seus mecanismos e sua origem geológica, que englobam o acervo de deformações rúptil ou dúctil de um período neotectônico". A INQUA não fixou os limites temporais para estabelecer o período da neotectônica, que pode incluir desde movimentos instantâneos (sísmicos) até aqueles superiores a 10 milhões de anos.

Os primeiros estudos sobre neotectônica no Brasil enfocando diretamente sua influência na formação do relevo foram os de Freitas (1951), que tentou delinear os grandes aspectos da Tectônica Moderna do Brasil, associando critérios geológicos e geomorfológicos (Saadi et al., 2005).

Entre 1955 e 1976 Fernando F. de Almeida publicou uma série de trabalhos que culminaram com o reconhecimento do “Sistema de Riftes Continentais da Serra do Mar”, composto por uma série de bacias tectônicas alinhadas ao longo do Vale do Rio Paraíba do Sul (e.g. Almeida, 1976). Segundo esse autor, a depressão que formou o rifte abateu-se a partir do Oligoceno, como consequência de um arqueamento causado pelo soerguimento da Serra do Mar e o basculamento da Bacia de Santos. Melo et al. (1985) associaram a origem do rifte a uma distensão crustal relacionada ao tectonismo tardio da abertura do Oceano Atlântico. Riccomini (1989), utilizando essas interpretações, estendeu a abrangência da estrutura incorporando à mesma a Bacia de Curitiba e outras menores dos litorais de São Paulo e Rio de Janeiro, e também antecipou sua origem para o Eoceno. O autor redenominou a estrutura de “Rifte Continental do Sudeste Brasileiro” (RCSB) (Figura 1).

Figura 1: O Rifte Continental do Sudeste Brasileiro. Fonte: Riccomini, 1989.

O Brasil está inserido numa região intraplaca (Placa Sulamericana) bordejada por uma margem passiva, não sendo, portanto, sujeito a forte sismicidade (Saadi et al., 2005). Apesar disso, o país apresenta várias zonas sismogênicas, dentre elas as da região Sudeste (Figura 2). De acordo com Mioto e Hasui (1982) e Mioto (1993), Bertioga está inserida na Zona Sismogênica de Cunha (4) e na Região Sismotectônica do Norte-Nordeste de São Paulo e Vale do Rio Grande (engloba as zonas sismogênicas 1, 2 e 4).

Figura 2: Mapas de isoietas (linhas de mesma intensidade sísmica) mostrando as Zonas Sismogênicas (A) e Sismotectônicas (B) do Sudeste brasileiro. Fonte: Mioto, 1993.

A Figura 3 reforça essa interpretação, ao mostrar o grande número de sismos ocorridos em toda a região costeira de São Paulo, o que nos remete ao fato de que Bertioga está submetida à neotectônica ainda ativa. O mapa mostra ainda que os campos de tensões próximos a São Paulo (compressão e tração) têm direções NW-SE.

Figura 3: Localização de áreas com sismos no território brasileiro (entre 1724 a 1995, com magnitudes $>2.5^\circ$), suas magnitudes e principais campos de tensões. Fonte: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/06/20/tensao-sob-a-terra/?cat=ciencia>, com base no Catálogo de Terremotos do Instituto Astronômico e Geofísico-USP e em Assumpção et al., 2016.

Saadi et al. (2005) apresentaram uma revisão sobre a neotectônica no Brasil, e ressaltaram a dificuldade em se construir um mapa (Figura 4) devido à baixa sismicidade do território brasileiro e à escassez de trabalhos sobre tectônica Quaternária. O arcabouço tectônico do Sudeste do Brasil e onde Bertioga se situa é exibido na Figura 5. Conforme ambos os mapas, Bertioga está sob a influência da extensa Zona de Falha de Cubatão-Bertioga-Caraguatatuba.

Figura 4: Mapa da Neotectônica no Brasil. A seta vermelha indica a Zona de Falha de Cubatão-Bertioga-Caraguatatuba. Fonte: Saadi et al., 2005.

Figura 5: Arcabouço tectônico do Sudeste brasileiro baseado em Almeida (1976) e Asmus e Ferrari (1978). A Zona de Falha de Cubatão-Bertioga-Caraguatatuba (linha de escarpa de falha cenozóica) é indicada pela seta vermelha. O RCSB se localiza entre as serras da Mantiqueira e do Mar.

Em relação à ocorrência de evidências de neotectônica no litoral paulista, Souza and Suguio (1996) e Souza (1997) se referiram à presença de facetas triangulares e capturas fluviais nas encostas da Serra do Mar, anomalias de drenagem na planície costeira, microfalhas (transcorrência) e presença de conjuntos de fraturas penetrativas verticais a subverticais, preenchidas ou não por óxidos de ferro, em terraços marinhos pleistocênicos. Ribeiro et al. (2003) mapearam várias gerações de facetas triangulares nas encostas da Serra do Mar em Cubatão, correlacionando-se à neotectônica cenozóica associada à Zona de Falha de Cubatão.

Souza e Souza (2001), utilizando ferramentas de sensoriamento remoto e levantamentos de campo, encontraram um conjunto de estruturas e feições morfotectônicas regionais nas planícies costeiras de São Paulo (Tabela 1) que permitiram concluir que as mesmas vêm sofrendo esforços tectônicos predominantemente verticais, mas também esforços horizontais (transcorrência dextral e de compressão). Segundo os autores, os esforços verticais seriam responsáveis pelo

controle regional e local de formação e evolução das planícies costeiras, enquanto os esforços horizontais controlariam a macrodrenagem, modificada por reativações neotectônicas. Em Bertioga predominam soerguimento e compressão horizontal.

Levando em consideração os resultados de sondagens geofísicas realizadas por Barbosa et al. (2012) na planície costeira de Bertioga e diversos tipos de dados encontrados nessa planície, Souza (2015) definiu uma estrutura abatida mergulhando para o interior da planície costeira como o Gráben de Bertioga. Sua origem estaria associada a reflexos do tectonismo no RCSB. Ainda segundo a autora, as reativações tectônicas desse gráben controlaram a sedimentação quaternária da planície, desencadearam a captura fluvial do Rio Guaratuba no final do Pleistoceno e, possivelmente, estiveram associadas a oscilações de alta frequência do NM durante o Holoceno.

Em relação aos métodos empregados em estudos sobre neotectônica, de maneira geral os principais abordam:

- a) Estudos de sismos atuais: identificação de zonas sismogênicas e dos campos de tensões que estão atuando na área de estudo.
- b) Trabalhos de sensoriamento remoto: identificação, em fotografias aéreas, imagens de satélite e radar, de alinhamentos de relevo, lineamentos estruturais, anomalias na rede de drenagem, e geoformas e outras estruturas indicativas de falhas.
- c) Mapeamento morfotectônico: reconhecimento, em campo, de feições e estruturas indicadoras de movimentos e deformações recentes em rochas e depósitos sedimentares.

Os estudos que utilizam os princípios da Morfotectônica têm como interesse principal a identificação de formas de relevo indicadoras de movimentos tectônicos recentes, deformações das superfícies, uso de evidências geomorfológicas para prever terremotos e identificar zonas de risco, e efeitos morfológicos provocados por terremotos (EMBLETON, 1987).

Tabela 1: Áreas com presença de feições morfotectônicas nas planícies costeiras paulistas e prováveis esforços tectônicos associados. AD = Ângulo Diedral; JO = Juntas Ortogonais; JC = Juntas de Cisalhamento. ZS = Zona Sismogênica. EP1: Eixo de deformação máxima; EP2: Eixo de deformação intermediária; EP3: Eixo de deformação mínima. Fonte: modificado de Souza, 2015.

ÁREA	FEIÇÕES MORFOTECTÔNICAS	JUNTAS SISTEMÁTICAS (VERTICAIS/SUB VERTICAIS)	AD	JO	JC	ORIENTAÇÃO DE ESFORÇOS TECTÔNICOS	PROVÁVEIS TIPOS DE ESFORÇOS TECTÔNICOS
CANANÉIA	Drenagens superimpostas; lineamento de drenagem (Rio Itapitangui): N36E, 12 km de extensão. (Graben de Cananéia, Alinhamento Guapiara; ZS de Cananéia).	N15E (4/m) e N65W (3/m)	80	X		EP1 V, EP2 = EP3	Soerguimento/Subsistência (esforços verticais)
		N53E (5/m) e N36W (5/m)	89	X			
		N24E (1/m) e N73W (2/m)	83	X			
		N18E (1/m) e N70W (1/m)	88	X			
		N40E (1/m) e N55W (1/m)	85	X			
		N28E (1/m) e N70W (1/m)	82	X			
		N05E (1/m) e N75W (1/m)	80	X			
		N45E (1/m) e N50W (1/m)	85	X			
I. COMPRIDA	Graben de Cananéia, Alinhamento Guapiara; ZS de Cananéia.	N40E (1/m) e N60W (1/m)	80	X		EP1 V, EP2 = EP3	Soerguimento/Subsistência (esforços verticais)
IGUAPE	Segmentos retilíneos e alinhados de drenagem (rios Ribeira de Iguaçu e Comprido): N50E, 15 km de extensão. (Sismos, Alinhamento Guapiara – NW-SE; ZS de Cananéia - IPT 1984).	N70E (3/m) e N10W (2/m)	80	X		EP1 V, EP2 = EP3	Soerguimento/Subsistência (esforços verticais)

PERUIBE	Drenagens superimpostas. (Sismo de Iguape, ZS de Cananéia).	N33E (2/m) e N60W (2/m) N43E (3/m) e N45W (2/m)	87 88	X X		EP1 V, EP2 = EP3	Soerguimento vertical
S. VICENTE e PRAIA GRANDE	Drenagens superimpostas; alinhamento de trechos retilíneos de rios: N30E e N60E, 3 e 2 km de extensão. (Falha de Cubatão - N65E, Falha de Jurubatuba - N55E, Lineamento Gravimétrico Além-Paraíba - N45E).	N73E (4/m) e N34W (3/m) Falha Sinistral: N06W deslocando N64E	83	X	X	EP1 V ou EP1N70W/H, EP3 N20E/H	Soerguimento/Subsistência ou Transcorrência dextral: N60E Transcorrência sinistral
BERTIOGA	Drenagens superimpostas; segmentos de drenagem retilíneos e alinhados (rios Itapanhaú e João Pereira): N60E, 12 km de extensão; microfalha em terraço marinho pleistocênico. (Falha de Bertioiga - N50E).	EW (10/m) e NS (10/m) N18E (10/m) e N70W (8/m) N05E (9/m) e N80W (10/m)	90 88 85	X X X		EP1 V, EP2 = EP3	Soerguimento/Subsistência (esforços verticais)
	Drenagens superimpostas; curso inferior do R. Itaguaré controlado por estrutura EW, com anomalia de relevo do embasamento (serrote de milonitos paralelo à linha de costa) e falésias controladas por juntas ortogonais subverticais; captura fluvial do Rio Guaratuba. (Falha de Bertioiga - N50E).	EW (10/m) e N07W (8/m)	83	X		EP1 V, EP2 = EP3	Soerguimento/Subsistência (esforços verticais)

Algumas pesquisas importantes na identificação dessas anomalias são os trabalhos desenvolvidos por LUEDER (1959), LATTMAN; MATZIKE (1961), MILLER (1961), GUY (1966), HOWARD (1967). No Brasil esses trabalhos foram introduzidos por WERNICK; SINELLI (1970), RIVERAU (1972) e SOARES; FIORI (1978).

Tendo em vista a necessidade de organizar a representação cartográfica de indicadores morfotectônicos, a União Geográfica Internacional (*International Geographical Union*) apresentou, em 1985, uma proposta de legenda (Figura 6), baseada nos estudos de Panizza e Castaldini (1978).

Figura 6: Legenda de indicadores morfotectônicos. Fonte: Panizza e Castaldini (1978).

Onde: 1) Topos Lineares; 2) Descontinuidade planar de topos; 3) Descontinuidade altimétrica de topos; 4) Descontinuidade planar e altimétrica de topos; 5) Picos alinhados; 6) Não coincidência entre picos alinhados e divisores de água; 7) Colo; 8) Escarpa; 9) Vertente do reverso; 10) Movimento de massa; 11) Formas erosivas alinhadas; 12) Formas cársticas e de pseudo-dolinas; 13) Vale assimétrico; 14) Vale retilíneo; 15) Voçoroca; 16) Cotovelo e cotovelo duplo fluvial; 17) Confluência farpada; 18) Degrau ou *knickpoint*; 19) Vale cego e vale seco; 20) Assimetria no padrão de drenagem; 21) Drenagem centrípeta; 22) Drenagem radial; 23) Captura fluvial; 24) Drenagem retilínea; 25) Paleodrenagem retilínea; 26) Borda de terraço; 27) Terraços convergentes e divergentes; 28) Agradação; 29) Costa reta; 30) Facetas triangular e trapezoidal; 31) Relevo isolado; 32) Linha de natureza indefinida; 33-) Linha tectônica distinta; 34) Estrutura circular; 35) Paleosuperfície; 36) Anomalia em paleosuperfície; 37) Fissura; 38) Vulcão de areia ou lama.

Nessa legenda podem ser destacados 14 indicadores classificados na categoria de anomalias de drenagem, a saber: Vale assimétrico; Vale retilíneo; Voçoroca;

Cotovelo e cotovelo duplo fluvial; Confluência farpada; Vale cego e vale seco; Assimetria no padrão de drenagem; Drenagem centrípeta; Drenagem radial; Captura fluvial; Drenagem retilínea; Paleodrenagem retilínea; Terraços convergentes e divergentes; Estrutura circular.

A anomalia de drenagem pode ser definida como um desvio local da drenagem regional e ou do padrão do canal que, em outra área, está de acordo com as estruturas regionais ou topografia (HOWARD, 1967). De Blieux (1949 *apud* Howard, 1967) demonstrou que os padrões que são esperados para determinadas condições são considerados como normais, enquanto o que difere são classificados como anomalias, as quais sugerem desvios nas estruturas ou na topografia regional. Com efeito, entende-se que uma anomalia sugere mudanças na geologia estrutural e, como consequência, nas formas de relevo em âmbito regional.

Segundo BISHOP (1982) um canal fluvial tende a seguir o caminho mais fácil e que acompanhe a declividade regional. Desta forma, a identificação da ocorrência de um trecho do canal com fluxo que discorde da declividade, sugere a imposição de um desvio que pode estar associado a uma litologia distinta ou a estruturas que podem correlacionar-se a eventos neotectônicos. Os canais fluviais são os primeiros elementos da paisagem a adaptar-se às deformações tectônicas, às mudanças atectônicas no nível de base, ou ao controle tectônico do substrato estruturalmente controlado, exposto pela exumação das camadas superiores, tornando-se o principal componente da paisagem em estudos de neotectônica.

De maneira geral, dentre as feições anômalas na rede de drenagem que permitem identificar de forma indireta a existência de determinação morfotectônica da paisagem, destacam-se: deslocamento de terraços e inflexões de rios (ROCKWELL *et al.* 1988), mudanças de direção do fluxo hídrico (HOWARD, 1967; OUCHI, 1985; DEFFONTAINES *et al.* 1991), vales suspensos, ruptura de perfis de vales, rupturas de perfis de vales de terraços fluviais (SUMMERFIELD, 1991; BISHOP, 1995), vales assimétricos (COX, 1994) e capturas fluviais (BISHOP, 1995).

Além dessas feições, Howard (1967) também incluiu: aparecimento abrupto e localizado de meandros; compreensão de meandros; desenvolvimento abrupto e localizado de canal anastomosado; aparecimento brusco de canal do tipo entrelaçado; padrão radial, anelar ou de treliça em padrão dendrítico; estreitamento anômalo de vales ou canais; *levées* (diques marginais) isolados; curvas anômalas; assimetria de bacias;

ausência de divisor de águas com o desenvolvimento de lagos; grande incidência de terraços; assimetria distinta em relação ao comprimento de afluentes de um canal.

Ainda segundo Howard (1967), cada anomalia de drenagem pode representar algum tipo de evidência estrutural, como se segue:

- a) A Retilinearidade de um canal natural está geralmente associada a condicionamento estrutural forte (fraturas/juntas e falhas).
- b) Meandros localizados, quando presentes em um canal essencialmente reto, sugerem a presença de uma estrutura dômica, ou mudança abrupta no gradiente de um canal.
- c) Meandros comprimidos, quando ocorrem em uma sequência de menor índice de sinuosidade, insinuam a presença de um alto estrutural.
- d) Canais entrelaçados e anastomosados de ocorrência local podem indicar a inabilidade da corrente em transportar carga de fundo, podendo estar relacionados a mudança no gradiente provocada por um alto estrutural.
- e) Padrões radial, anelar ou de treliça são condicionados por sistemas de fraturas/juntas.
- f) Estreitamento de canal ou vale pode relacionar-se a um alto estrutural local.
- g) Lagos, pântanos e depósitos aluviais localizados podem sugerir influência de subsidência ou soerguimento localizados, ou de alguma estrutura geológica encoberta.
- h) Diques marginais (*levées*) isolados ou largos são indicativos de subsidência, soerguimento, ou de alguma estrutura geológica encoberta.
- i) Curvas anômalas são indicativas, em sua maioria, de inversão de relevo ou então de marcante controle estrutural.
- j) Assimetria distinta denota ângulos de pendentes diferentes.

A captura fluvial ocorre quando a erosão de um canal é mais agressiva que o outro adjacente, capturando sua descarga por interceptação (CHRISTOFOLETTI, 1980; SUMMERFIELD, 1991; BISHOP, 1995). O potencial erosivo do canal encontra-se interligado ao aumento na declividade do gradiente, sobretudo em processo tectônico ou por erosão em rochas menos resistentes. Quando é resultado da erosão lateral ou aplanagem, acontece depois que os rios estão equilibrados e quando predomina a erosão lateral. Quando se dá por origem tectônica, ocorrem desvios determinados pela migração lateral do canal, onde o rio é empurrado para dentro da bacia adjacente. Outra

possibilidade é a captura devido a fluxos catastróficos, sob influência tectônica ou não. A captura por decapitação (capturas em direção à montante) é o mais agressivo processo de erosão remontante (BISHOP, 1995). O ponto onde se realiza a captura é denominado *nó de captura* e o rio que perdeu parte de sua bacia chama-se *decapitado*.

Segundo Thornbury (1966), o motivo mais comum que leva à captura é a aptidão que um rio possui para manter e estender seu vale a um nível mais baixo do que um rio adjacente, podendo se manifestar por: erosão remontante, aplanamento lateral e desvio subterrâneo. A captura por transbordamento (Figura 7) acontece quando um rio, correndo em nível mais alto do que outro, faz alçar o seu leito por excesso de deposição. A corrente pode vazar por um rebaixamento e fluir para o rio mais próximo por um processo de cavamento. De acordo com Penteado (1974), a captura por transbordamento ocorre pelo levantamento do vale do rio situado na parte superior, determinada por neotectonismo. A captura por erosão remontante pode ocorrer quando um rio tem seu vale aprofundado em rochas mais facilmente erodíveis, ou então quando possui um gradiente mais elevado do que o outro (Figura 8). Segundo Penteado (1974) este tipo ocorre pelo levantamento da cabeceira do rio situado na parte inferior, por influência de neotectonismo. Onde ocorrem calcários ou outras rochas solúveis que jazem sobre o nível de base de erosão pode haver a captura subterrânea, desde que o outro rio esteja em um nível inferior.

Figura 7: Captura fluvial por transbordamento (fonte: Penteado, 1994).

Figura 8: Captura fluvial por recuo de cabeceira. (Fonte: Penteado, 1994)

Uma captura fluvial pode ser identificada por meio das seguintes anomalias de drenagem: presença de cotovelos localizados (ponto de captura, sempre em ângulo reto, indicando a direção da mudança do canal); presença de vales secos e vales abandonados, que surgem após a captura.

É importante destacar que estudos relacionados a anomalias de relevo e drenagem em planícies costeiras ainda são raros no Brasil, podendo ser exemplificados os trabalhos de Bezerra et al. (1998, 2003) e Bezerra (2001) para o Rio Grande do Norte.

2.1.2 Aplicação das Geotecnologias, Fotografias Aéreas e os Modelos Digitais de Terreno (MDS)

A geotecnologia é aplicada para diversas finalidades, como apontado nos estudos de Assad e Sano (1998), que destacam a importância em obter informações remotas e aplicar em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) em análises ambientais. Conforme é demonstrado por Bielenki (2012) essas ferramentas de análises geoespacial permitem identificar, modelar e analisar variáveis abióticas e bióticas de uma região. Assim os SIGs como: *ArcGis*, *GvSIG*, *QGis*, *Spring*, *TerraView*, entre outros, possuem compatibilidade como Windows, Linux etc, permitem amplo uso e maior interoperabilidade, estes, por sua vez utilizam modelos georrelacional, também

conhecido como arquitetura dual, onde são armazenados atributos referentes às variáveis de interesse.

Em se tratando de recursos hídricos, o uso de geotecnologias permite, por exemplo, identificar, modelar, integrar e subsidiar informações que gerenciam e também outorgas do direito de uso prioritários da água, como o consumo humano e dessentamentação de animais, irrigação, análises de potencial hidroelétrico, controle de enchentes, vulnerabilidade a processos erosivos, dinâmica de transporte de sedimentos, vias de contaminação hídrica, condições de navegabilidade, uso recreativos entre outros usos e aplicações diretas e indiretas.

A utilização para análise, interpretação e busca de novos resultados, na área de recursos hídricos, mais especificamente sobre a extração automática da rede de drenagem. A definição de drenagens por extração automática é apresentada na literatura por modelos e algoritmos que passam por processos de aperfeiçoamento desde o fim da década de 1980. Muitos algoritmos são baseados na determinação da direção de fluxo, que a partir das cotas altimétricas, geradas pelos modelos de elevação do terreno previamente utilizados, permitem atribuir direções que por sua vez apontam os fluxos hídricos e hierárquicos.

A representação matricial do relevo nos conhecidos Modelos Digitais de Terreno – MDT (DTM - *Digital Terrain Model*) é a forma mais utilizada para as análises de geometria em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). As formas geradas por esses modelos, também conhecidas como superfícies digitais, têm como objetivo representar superfícies contínuas de forma discreta a partir de uma quantidade finita de dados, que são comumente chamadas de amostras e podem ser representadas matematicamente e graficamente. As formas mais comuns de representações gráficas do relevo são as grades regulares e irregulares. Segundo Mikhail et al. (2001) elas são uma representação digital da superfície terrestre através de um conjunto de pontos.

Outros termos criados para definir a modelagem de terreno são o Modelo Digital de Elevações (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). Segundo Paparoditis e Polidori (2002), o MDE é um termo geral usado para representar qualquer tipo de dados de elevação da superfície da terrestre. Assim, o MDT seria um tipo específico de MDE, que representa a superfície física do terreno, não incluindo objetos acima do mesmo, tais como vegetação e feições antrópicas. Mas quando a informação contém a maior elevação de cada ponto, proveniente do solo ou acima dele, então o modelo é o MDS.

A aquisição de dados para gerar um MDS pode ser através de curvas de nível digitalizadas, levantamentos de campo, imagens aéreas e ou satélite, e varredura a laser.

A partir desses modelos é possível, então, realizar uma análise detalhada do relevo, gerar mapas de declividade, mapas geológicos, extrair perfis do terreno, realizar cálculos diversos, e também aplicar o método automático da rede drenagem, atingindo então um dos principais objetivos desta pesquisa.

2.2 Análises Granulométricas por Granulômetro a Laser

A identificação de ambientes deposicionais através dos parâmetros estatísticos de distribuição granulométrica de sedimentos costeiros ganhou forte impulso a partir de meados do século XX, motivado pela indústria petrolífera em pesquisar as condições paleoambientais dos processos de sedimentação marinha. Um exemplo desses estudos foi o de Passega (1964), que inferiu condições de transporte e deposição através da correlação gráfica entre o primeiro e a quinquagésimo percentil de uma distribuição granulométrica.

Com a evolução tecnológica e, principalmente com a disponibilização de computadores pessoais, o emprego de técnicas matemáticas complexas aplicadas à sedimentologia foi se tornando gradativamente mais usual. Surgiram, então, programas capazes de fazer análises multivariadas e vetoriais, assim como de mapeamento e técnicas sofisticadas de interpolação espacial com o aumento, ou melhor dizendo, consequente incremento da qualidade de análise e representação dos resultados.

Desde então, o tratamento estatístico de dados granulométricos tem sido principalmente baseado nas equações de Folk e Ward (1957), que estabeleceram quatro parâmetros texturais: diâmetro médio, desvio padrão (grau de seleção), curtose e assimetria.

O diâmetro médio das partículas reflete a média geral de tamanho dos sedimentos, sendo afetada pela fonte de suprimento do material, pelo processo de deposição e pela velocidade da corrente (Suguio, 1973)

O desvio padrão ou grau de seleção dos sedimentos é relacionado ao retrabalhamento dos depósitos fluviais e reflete variações nas condições do fluxo

(velocidade e turbulência) no ambiente deposicional (Ponçano, 1986). Este parâmetro varia de extremamente mal selecionado a muito bem selecionado.

A curtose é a medida que retrata o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência. A medida de curtose relaciona a razão entre as dispersões na parte central e nas caudas das curvas de frequência. As curvas platicúrticas são caracterizadas por caudas de sedimentos mais finos e mais grossos, indicando mistura de populações distintas. Nas distribuições leptocúrticas, os sedimentos são bem selecionados na parte central da distribuição (Suguio, 1973).

A assimetria varia de assimetria muito positiva a assimetria muito negativa. Tem sido usada com sucesso na identificação de ambientes em que predomina deposição (assimetria positiva) e remoção seletiva (assimetria negativa) (Duane, 1964).

As técnicas de laboratório usuais para análises granulométricas incluem os métodos de peneiramento, para sedimentos arenosos e mais grossos, e pipetagem, para os pelitos.

Mais recentemente, surgiu uma técnica que emprega a difusão da luz nas partículas por meio de um equipamento conhecido por *Mastersizer*, ou Granulômetro a laser. Este identifica a distribuição dos diferentes tamanhos de grãos de maneira mais precisa.

Durante muito tempo os cientistas tentaram prever como as partículas difundem e absorvem a luz. Existem várias teorias e modelos pelos quais atualmente a aparelhagem pode nos guiar. Uma das teorias mais simples utilizadas é através do modelo de *Fraunhofer*. Esse modelo pode prever o padrão de difusão da luz criado quando se passa um disco sólido, opaco e de tamanho conhecido por um raio laser. Este modelo é satisfatório para algumas partículas, porém não descreve a difusão com exatidão. Muito poucas têm a forma de disco e a maior parte delas são transparentes.

A difusão da luz sobre as partículas é baseada na teoria de Mie, essa por sua vez foi desenvolvida de modo a prever a forma como a luz se difunde em partículas esféricas e estuda a forma como a luz atravessa ou é absorvida pelas partículas. Porém esta teoria torna-se mais exata conforme a entrada de dados, que o operador do granulômetro introduz ao iniciar a análise. O "ponto-chave" destas teorias é que, se souber o tamanho da partícula e outros pormenores acerca da sua estrutura, se pode com precisão o modo como a luz se difundirá. Cada tamanho de partícula terá o seu padrão de difusão característico, como uma impressão digital, distinto de qualquer outro tamanho de partícula. MALVERN (1998).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área de estudo se localiza no município de Bertioga, na Região Metropolitana da Baixada Santista, e compreende as bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba (Figura 9), cujas áreas têm respectivamente, 89,91 km² e 125,35 km² (Moreira, 2007). Uma pequena parte a leste da bacia do Rio Guaratuba se encontra inserida no município de São Sebastião.

Figura 9: Área de estudo. Fonte: Abreu, 2017.

No contexto da evolução das planícies costeiras do Brasil e das questões socioambientais mencionadas, a planície costeira de Bertioga é um exemplo ímpar no território do país dada a sua configuração geológico-geomorfológica. Nesta área são encontrados exemplares de praticamente todos os ambientes deposicionais de todo o

litoral brasileiro, além de significativos registros de formações sedimentares marinhas quaternárias e compartimentos geomorfológicos (Souza,2015).

A preservação desses ambientes e registros geológico-geomorfológicos pode ser explicada em grande parte pela precariedade de acessos para a região, pelo menos até a década de 1980, e devido a legislação ambiental vigente que contribuiu para a preservação de grandes remanescentes das florestas originais da planície costeira (vegetação de restinga), que cobrem cerca de 70% do município. Em algumas áreas esses remanescentes florestais formam corredores contínuos que começam na linha de costa e vão até o topo das escarpas da Serra do Mar. As pressões antrópicas sobre essa planície costeira rica em biodiversidade e geodiversidade suscitaram a criação do Parque Estadual da Restinga de Bertiooga em 2010 por meio do Decreto Estadual nº56.500/2010 (Rossi, 1999; Souza, 2015). É relevante destacar que após a criação deste decreto, as pesquisas em âmbito ambientais contribuem para a manutenção e preservação dos ambientes, sem grandes impactos diretos e ou indiretos de origem antrópicas.

3.2 Contexto Geológico-Geomorfológico

3.2.1 Unidades Quaternárias da Planície Costeira e Baixa-Média Encosta

Os primeiros estudos sobre a planície costeira de Bertiooga são Suguio e Martin (1978b), em que os autores apontaram a predominância de depósitos holocênicos de várias origens, ocorrendo remanescentes de terraços marinhos pleistocênicos apenas nas proximidades do Rio Itapanhaú. De acordo com esses autores, o modelo evolutivo seria semelhante ao proposto para Caraguatatuba (Figura 10).

Os estudos realizados por Souza (2007, 2015) revelaram, no entanto, que a distribuição das unidades quaternárias vai além do que havia sido proposto por Suguio e Martin (1978).

Segundo Souza (2007, 2015), nas bacias dos Rios Guaratuba e Itaguapé são encontrados 12 tipos de ambientes sedimentares ou Unidades Quaternárias (UQ) (Figura 11), assim distribuídas da linha de costa em direção à Serra do Mar: praias

atuais (**Pr**), planícies de maré atuais (**LOL**), Depósitos Fluviais Holocênicos a atuais (**LHF**), Depósitos Paleolagunares Holocênicos, Lacustres e Colúvios de Baixada Atuais (**LCD**), Cordões Litorâneos Holocênicos (**LHTb**), Terraços Marinhos Holocênicos (**LHTa**), Terraços Marinhos baixos Pleistocênicos (**LPTb**), Complexo sedimentar formado pela associação de restos de Terraços Marinhos altos Pleistocênicos e Depósitos Paleolagunares Holocênicos (**Cx- LPTa/LCD**), Terraços Marinhos altos Pleistocênicos (**LPTa**), Terraços Fluviais altos Pleistocênicos a Holocênicos (**LPF**), Depósitos Mistos não individualizados formados por Depósitos Fluviais e Colúvios de Baixada Holocênicos a Atuais (**LMP**), e Depósitos de Encosta (Rampas de Colúvio, Tálus e Leques Aluviais) Pleistocênicos a Atuais (**LCR**).

Estágios de Formação da Planície Costeira de Caraguatatuba (Suguio & Martin, 1976)

Figura 10: Modelo evolutivo da planície costeira de Caraguatatuba. Fonte: Souza et al., 2008, modificado de Suguio e Martin, 1976.

UNIDADES QUATERNÁRIAS DE PLANÍCIE COSTEIRA E BAIXA-MÉDIA ENCOSTA	
Pr	Depósitos Praiais Atuais
LOL	Depósitos de Planície de Maré Atuais
LHF	Depósitos Fluviais (planície de inundação, depósitos de leito, barras arenosas e terraços fluviais baixos) Holocênicos a Atuais
LMP	Depósitos Mistos não individualizados formados por Depósitos Fluviais e Colúvios de Baixada Holocênicos a Atuais
LCD	Depósitos Paleolagunares Holocênicos, Lacustres e Colúvios de Baixada Atuais
LHTb	Cordões Litorâneos Holocênicos
LHTa	Terraços Marinheiros Holocênicos
LPTb	Terraços Marinheiros baixos Pleistocênicos
LPTa	Terraços Marinheiros altos Pleistocênicos
LPT	Terraços Fluviais (planície de inundação, depósitos de leito e barras fluviais) altos Pleistocênicos
Cx-LPTa/LCD	Complexo sedimentar formado pela associação de restos de Terraços Marinheiros altos Pleistocênicos e Depósitos Paleolagunares Holocênicos
Cx-LPTa/LPT	Complexo sedimentar formado pela associação de restos de Terraços Marinheiros altos Pleistocênicos e Terraços Fluviais altos Pleistocênicos
LGR	Depósitos de Encosta (Rampas de Colúvio, Tálus e Leques Aluviais) Pleistocênicos a Atuais

Figura 11: Unidades Geológicas-Geomorfológicas Quaternárias da planície costeira dos rios Itaguara e Guaratuba. Fonte: Souza, 2015.

A nomenclatura utilizada na denominação das UQ segue a estrutura utilizada para um sistema de informações geoambientais elaborado para o Litoral Norte de São Paulo (Souza, 2005; Souza e Luna, 2008), e que teve continuidade para Bertiooga. Assim: a primeira letra (L = planície litorânea) está associada ao compartimento geológico-geomorfológico regional constituído pela planície costeira e a baixa encosta; a segunda indica alguma informação geológica, como idade principal (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).

Essas UQs apresentam as seguintes características (Souza, 2015):

- **Pr:** depósitos de areias muito finas a finas em praias atuais de estado morfodinâmico intermediário a dissipativo de alta energia;
- **LOL:** depósitos pelítico-arenosos de planícies de maré atuais.
- **LHTa e LHTb:** duas gerações de depósitos arenosos (areias finas e muito finas) marinhos que apresentam feições de cordões litorâneos e terraços marinhos mais baixos, podendo apresentar depósitos eólicos no topo. A primeira geração (LHTa) é mais elevada (cotas entre 3 e 4 m acima do nível do mar atual), mais antiga e encontra-se mais afastada da linha de costa (distal), formando terraços amplos que não preservam a morfologia de topo em forma de cordões litorâneos, ou ela é tênue. A segunda geração (LHTb) é mais baixa (cotas entre 1,5 a 2,5 m), mais jovem e bem próxima da linha de costa atual (frontal) e preserva a morfologia de cordões litorâneos. Ambas foram geradas durante o evento Transgressivo-Regressivo Santos. A segunda geração seria atribuída à regressão marinha subsequente à pequena transgressão ocorrida por volta de 3.600 anos A.P.
- **LPTa e LPTb:** duas gerações de depósitos arenosos (areias finas e muito finas) marinhos que apresentam feições de terraços marinhos mais elevados que os holocênicos, podendo apresentar depósitos eólicos no topo. A primeira geração (LPTa) é mais elevada (cotas entre 7 e 13 m acima do nível do mar), mais antiga e encontra-se mais afastada da linha de costa (distal), formando elevações altas e irregulares, às vezes isoladas, mas que por vezes podem se prolongar lateralmente para

terraços amplos mas não muito extensos. São restos de terraços marinhos bastante erodidos e elevados, que ocorrem sempre em associação com depressões paleolagunares holocênicas (LCD), formando mosaicos distribuídos pelas duas bacias. Essa associação define um complexo de difícil individualização das litologias mesmo em fotografias aéreas de escala 1:25.000, denominado de **Cx-LPTa/LCD**. A segunda geração é mais baixa (cotas entre 5 e 7 m), mais jovem e mais próxima à linha de costa (frontal), ocorrendo de forma mais contínua como amplos terraços marinhos de extensão lateral praticamente contínua em toda a área de estudo. Ambas as gerações desses terraços marinhos têm idade pleistocênica. A segunda geração é correlata ao evento Transgressivo-Regressivo Cananéia. No entanto, as características da primeira geração sugerem que esses terraços podem ser mais antigos que 120.000 anos A.P. (amostras desses sedimentos foram coletadas e enviadas para datação por termoluminescência, cujos resultados estão sendo aguardados). Datações (LOE) efetuadas ao longo das três bacias hidrográficas (Itapanhaú, Itaguaré e Guaratuba), no topo desses depósitos apontaram idades de 162000 ± 13.000 , 168000 ± 15 e 175000 ± 30 (Coelho et al. 2010), corroborando para que esses depósitos tenham se formado anteriormente à Transgressão Cananéia. Já nos estudos de Coelho et al. (2011), datações LOE apontam idades de 116.100 ± 20.600 e 125.600 ± 14.500 anos AP, que a remete, portanto, à Formação Cananéia.

- **LPTb** – constituem terraços fluviais antigos e alçados (cotas entre 7 e 10 m), formados por depósitos de planície de inundação (areias finas a pelitos), leito e barras (areias grossas a cascalhos). Estão presentes nas porções distais da planície costeira, sempre seguindo as áreas mais elevadas dos rios principais na planície costeira, caracterizadas pela ocorrência de canais longos e paralelos entre si. Em geral entremeiam os LPTa (**Cx-LPTa/LPTb**), estando em cotas similares aos mesmos. Devem representar depósitos reliquiais de ambientes fluviais provavelmente formados durante o Pleistoceno. Nos estudos de Martins (2009), foram encontrados sequencias de depósitos fluviais sobrepostos a depósitos de LPTb, nesses locais foram coletadas amostras e datações LOE realizadas nessas sequencias, indicaram idades de 162.100 ± 27.500 anos AP, esses

formados em ambiente de alta energia), para amostras coletadas na base do depósitos as idades foram de 119.600 ± 17.700 anos AP, sendo apontados pela autora como ambientes de baixa-média energia e com retrabalhamento eólico associado.

- **LHF** : são os depósitos fluviais (aluviais) de idade holocênica a atual (ambientes ainda em atividade), constituídos de sedimentos de planície de inundação (areias finas a pelitos), leito e barras (areias grossas a cascalhos). Embora esses depósitos devam estar presentes em toda a área de estudo, na escala deste mapeamento foram individualizados apenas na Bacia do Rio Itaguaré.
- **LCD** : depósitos que ocupam depressões formadas por paleolagunas ativas durante o evento Transgressivo-Regressivo Santos, hoje preenchidas por sedimentos pelíticos (argilo-siltosos e orgânicos) de origem lagunar e lacustre, ora soterrados por colúvios de baixada atuais (sedimentos pelítico-arenosos provenientes das encostas que são carregados pelos rios para a planície costeira e ficam aprisionados nessas depressões). Como essas áreas são entrecortadas por pequenos canais fluviais, os depósitos podem estar localmente associados com sedimentos aluvionares atuais. Ocorrem no meio e ao fundo das planícies costeiras, isoladamente ou associados aos LPTa, formando planícies onde o lençol freático é aflorante.
- **LMP** :constituem uma associação não individualizada de depósitos fluviais (aluviais) e colúvios de baixada holocênicos a atuais, recobrimdo as porções mais distais e planas da planície costeira, junto às encostas da Serra do Mar. É caracterizada pela ocorrência de inúmeros e pequenos canais de drenagem, marcando uma malha divagante. O lençol freático é sazonalmente aflorante.
- **LCR** : englobam os depósitos de baixa encosta como rampas de colúvio, tálus e leques aluviais de idade pleistocênica a atual. Assim, são constituídos de sedimentos com ampla variação granulométrica, desde argilas até matacões.

A Tabela 2 exibe um resumo do conjunto de características ambientais associadas a essas UQs.

Tabela 2: Características ambientais associadas a essas UQs. Fonte: Souza et al. (2008), Souza (2015).

UQ	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS	VEGETAÇÃO (classificação segundo Resolução CONAMA 07/1996 e Souza 2006)
D EPÓSITOS C ONTINENTAIS				
LHF	Depósitos fluviais de idade holocênica a atual (sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos); NA: 0,50 –1,20 m (estação seca).	Planícies de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos.	Gleissolos Háplicos e Melânicos	Floresta Alta de Restinga, Floresta de Transição Restinga-Encosta, Floresta Alta de Restinga Úmida, Floresta Paludosa
LMP	Depósitos mistos indiferenciados de idade holocênica a atual (sedimentos aluviais e colúvios de baixada); NA: 0,20 –1,10 m (estação seca).	Planície sedimentar de muito baixa declividade localizada ao fundo da planície costeira.	Neossolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Melânicos (local), Cambissolos Flúvicos e Háplicos	Floresta de Transição Restinga-Encosta e Floresta Paludosa (local)
LCR	Depósitos de encosta representados por depósitos colúviais, tálus e leques aluviais, de idade pleistocênica a atual (sedimentos areno-siltico-argilosos até matacões); NA: ?2,0 m (estação seca).	Rampas de baixa declividade localizadas na baixa encosta, às vezes adentrando a planície costeira (leques aluviais).	Neossolos Regolíticos, Cambissolos Háplicos, Latossolo Amarelo	Floresta de Transição Restinga-Encosta
LPTa	Depósitos fluviais de idade pleistocênica (sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos); NA: 0,50-1,50 m (estação seca).	Terraços fluviais alçados (planos e amplos) localizados ao fundo da planície costeira e sempre em associação com LPTa e Cx-LPTa.	Gleissolos Háplicos, Cambissolos Flúvicos; Neossolos Flúvicos	Floresta Aluvial
D EPÓSITOS FLÚVIO - MARINHOS , PALUDIAIS E L ACUSTRES				
LCD Cx-LCD	Depósitos flúvio-marinhos, lacus tres e paludiais (sedimentos pelítico-orgânicos a areno-siltico-argilosos) de idade holocênica a atual, podendo estar associados a colúvios de baixada e depósitos aluviais; NA: aflorante - 0,20m (estação seca). Complexo formado por depressões paleolagunares restritas 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, formando um complexo (Cx-LPTa/LCD) indiferenciado na escala de mapeamento.	Organossolos Sápricos e Fíbricos; Gleissolos Melânicos e Háplicos (local)	Floresta Paludosa (paleolagunas mais profundas); Floresta Alta de Restinga Úmida (paleolagunas mais rasas)
D EPÓSITOS M ARINHOS				
LHTb	Depósitos marinhos de idade holocênica mais jovem (areias muito finas a finas), às vezes recobertos por depósitos eólicos holocênicos a atuais; NA: 0,40-1,20 m (estação seca).	Cordões litorâneos regressivos (morfologia bastante ondulada e cotas mais baixas).	Neossolos Quartzarênicos, Espodossolos Humilúvicos	Floresta Baixa de Restinga, Floresta Alta de Restinga
LHTa	Depósitos marinhos de idade holocênica mais antiga (areias muito finas a finas), às vezes recobertos por depósitos eólicos holocênicos; NA: 0,50-1,50 m (estação seca).	Terraços marinhos mais baixos e mais próximos à linha de costa (morfologia suavemente ondulada).	Espodossolos Humilúvicos	Floresta Alta de Restinga
LPTb	Depósitos marinhos de idade pleistocênica mais jovem (areias muito finas a finas), podendo estar recobertos por depósitos eólicos holocênicos; NA: 0,70-2,70 m (estação seca).	Terraços marinhos intermediários (planos, localmente ondulados).	Neossolos Quartzarênicos, Espodossolos Humilúvicos e Ferri-Humilúvicos	Floresta Alta de Restinga
LPTa Cx-LPTa	Depósitos marinhos de idade pleistocênica mais antiga (areias muito finas a finas), podendo estar recobertos por depósitos eólicos pleistocênicos; NA: 1,0 - >3,0 m (estação seca). Complexo formado por LPTa erodido e entremecido por depósitos pelíticos paleolagunares/lacustres holocênicos a atuais (Cx-LCD).	Terraços marinhos mais elevados e mais distais à linha de costa, formando montículos isolados, de topo plano a irregular e pouco extensos; em geral entremeados por pequenas depressões paleolagunares, formando um complexo (Cx LPTa/LCD) indiferenciado na escala de mapeamento.	Neossolos Quartzarênicos, Espodossolos Ferrilúvicos	Floresta Alta de Restinga

3.3 Síntese da Evolução da Planície Costeira nos Ambientes Depositionais Continentais das Bacias dos Rios Itaguaré e Guaratuba

Aqui é apresentada uma breve caracterização dos depósitos continentais presentes na planície costeira dos rios Itaguaré e Guaratuba e de sua evolução.

De acordo com Souza (2015) a evolução da planície costeira de Bertioga começa com a implantação do “Graben de Bertioga”, definido por com base nas interpretações de sondagens geofísicas elaboradas por Barbosa et al. (2012) (Figura 12). Esse evento neotectônico se deu em decorrência da reativação de estruturas mais antigas do embasamento da planície costeira e do tectonismo do RCSB. A figura mostra profundidades máximas do embasamento de até 60 metros no segmento voltado para o mar (A-F) e de até 100 metros no segmento voltado para a Serra do Mar (F-B). Nesse perfil sísmico também se observa a interrupção de um refletor bem marcado no segmento A-F, no bloco voltado para o interior da planície.

Figura 12: Interpretação de perfil sísmico realizado na parte central da planície costeira do Itaguaré, sobre a depressão paleolagunar-estuarina (LCD). Fonte: Barbosa et al. 2012 e Souza (2015).

Ainda segundo a autora, a origem dessa estrutura se deu entre o final do Paleógeno e o início do Pleistoceno, e deve estar correlacionada também à formação de outros grábens ao longo da costa paulista, como o Gráben de Cananéia e o provável

grabén que condiciona o bloco abatido que hoje sustenta todo o Estuário Santista e as Baías de Santos-São Vicente, assim como a estruturação do Canal da Bertioga.

Souza (2015) aponta várias evidências de atividades neotectônicas na planície costeira que, juntamente com as variações do nível relativo do mar (NRM), também controlaram a evolução dessa planície. Esses eventos estiveram associados aos reflexos da formação e de reativações do Gráben de Bertioga. Entre esses eventos, a autora discute os dois últimos pulsos de tectonismo, um no final do Pleistoceno e outro no Holoceno médio. O primeira, ocorrido por volta de 20 ka AP, acarretou: a captura fluvial do Rio Guaratuba, responsável pelo espesso empilhamento de conglomerados e cascalheiras no sopé da serra que deram origem aos depósitos fluviais de LPF; o abatimento de blocos da porção central interna da planície costeira, resultando no rebaixamento e entalhamento dos terraços marinhos pleistocênicos altos (LPTa), e criando ou reativando o arcabouço para o desenvolvimento de paleolagunas restritas, porém profundas, inundadas durante a Transgressão Santos (início no limite Pleistoceno/Holoceno, pouco antes de 9500 anos AP, e máximo ao redor de 5.660 anos AP) (Figura 13). O pulso neotectônico ocorrido no Holoceno médio, que provavelmente também influenciou oscilações menores do NRM, provocou o basculamento de blocos no sopé da serra e o abatimento de porções de LPF, cujas superfícies abatidas foram posteriormente soterradas por depósitos de fluxos de detritos e lama (“colúvios de baixada”), dando origem à unidade LMP (depósitos mistos). Uma evidência desse abatimento foi encontrada em testemunhos de sondagem realizadas em LPF e LMP, traduzida pelo rejeito de cerca de 6 m de uma camada-guia de sedimentos pelíticos datados de 6550 anos AP e interpretados como formados em um sistema lacustre durante a Transgressão Santos. De acordo com Souza (2015), esse pulso tectônico ocorreu entre 4040 e 3520 anos AP.

Figura 13: Mapa da planície costeira de Bertioga esboçando o último máximo transgressivo (Transgressão Santos). Fonte: Souza (2015).

Como destacado por Souza (2015), esses ambientes de sedimentação continental representam anomalias de relevo e drenagem que refletem respostas de toda essa atividade neotectônica.

Ainda em relação à captura fluvial do Rio Guaratuba, como comentado anteriormente, o fenômeno foi identificado por Rossi (1999), ao estudar aspectos geomorfológicos e pedológicos da bacia do Rio Guaratuba. Oliveira (2003) retomou o tema e elaborou estudos geomorfológicos regionais e locais para tentar entender a evolução do fenômeno, concluindo que ele teria sido causado pela erosão regressiva da escarpa da Serra do Mar, por recuo de cabeceira e, conseqüentemente, por transbordamento. Mais tarde, Neves (2012) realizou novos estudos morfométricos da área e obteve datações LOE de terraços fluviais próximos ao ponto de captura, cujos resultados revelaram idades entre 29000 ± 5000 e 10000 ± 1000 anos AP. A autora também encontrou remanescentes de terraços fluviais no ponto de separação das drenagens, mostrando contatos marcantes (erosivos) entre depósitos anteriores à captura e posteriores a ela. Embora não seja conclusiva em relação à origem da captura, a autora

deixa transparecer a possibilidade de influência tectônica no fenômeno quando se reporta a esses depósitos, no seguinte texto:

Ainda considerando as mudanças climáticas como forte relação com os depósitos e entalhe da drenagem, tal como os ajustes de drenagem e relevo local decorrentes dos últimos eventos tectônicos, é possível identificar pontos... que comprovam de forma clara as diferenças de momento de deposição, caracterizados por este contato litológico e pedológico, cuja transição de Espodossolo para Gleissolo é bem marcante (NEVES, p.80, 2012).

3.3.1 Ambientes deposicionais continentais das bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba: Evidências de neotectônica

Como visto anteriormente, os ambientes de sedimentação de origem continental presentes na planície costeira dos rios Itaguapé e Guaratuba compreendem os Terraços Fluviais Pleistocênicos a Holocênicos (LPF), a planície de Depósitos Mistos Holocênicos a Atuais (LMP) e os Depósitos Aluviais Holocênicos a Atuais (LHF) (Figura 14).

Figura 14: Mapa de Localização dos Depósitos Continentais. Fonte: Abreu, 2017.

Conforme descrito por Souza (2007, 2015), os depósitos LPF afloram ao fundo de toda a planície costeira, formando mosaicos de distribuição irregular, em geral truncados por outras unidades, como os Depósitos Mistos (LMP) e o complexo Cx-LPTa/LCD. Nessa área da planície costeira a rede de drenagem é superimposta, formando arranjos estruturados, que constituem, portanto, anomalias de drenagem. Ademais, a própria preservação de terraços fluviais alçados ao fundo dessa diminuta planície costeira e sem vinculação com o sistema fluvial que o teria originado, por si só representa uma anomalia geológico-geomorfológica (de relevo), dificilmente explicada por processos de erosão e sedimentação continentais convencionais (Souza, 2015).

É importante ressaltar que, até o momento, no restante do litoral do Estado de São Paulo, restos de terraços fluviais alçados como os de Bertioga só foram mapeados ao longo do Rio Cubatão (Ribeiro, 2003) e na bacia do Rio Ribeira de Iguape (Melo, 1990), áreas estas que estão sob influência de neotectônica ainda ativa.

Um sondagem mecânica (testemunho Madal-01, Figura 15) realizada ao fundo da planície costeira da bacia do Rio Guaratuba (coordenadas UTM 405.059,42 e 7.374.971,11), mostrou que os depósitos LPF são essencialmente compostos de cascalheiras e areias grossas de origem fluvial e atingem quase 23 m de espessura (Souza, 2015). Datações LOE realizadas em sedimentos coletados a 18,52-18,98 m e 8,5-9,0 m de profundidade desse testemunho revelaram idades, respectivamente, de 17.150 ± 2200 e 4.810 ± 770 anos AP. Na profundidade de 10,5-11,25 m e limitada por contatos bruscos foi identificada a única litofácies de sedimentos pelíticos de todo o pacote sedimentar, cuja idade do topo (10,5-10,53 m) é ^{14}C 7560-7420 anos cal AP (6.550 ± 40 anos AP). Esses resultados indicam que a sedimentação fluvial foi iniciada no final do Pleistoceno e seguiu durante o Holoceno, e teve uma fase lacustre associada à Transgressão Santos.

Figura 15: Perfil estratigráfico baseado no testemunho de sondagem Madal-01.
Fonte: Souza, 2015.

Os Depósitos Mistos (LMP) ocorrem em associação lateral com a unidade LPF, numa distribuição espacial também em forma de mosaicos sugestiva de anomalia morfotectônica (Souza, 2015). Um testemunho de sondagem - Madal-02 (Figura 16), coletado cerca de 200 m (coordenadas UTM 405.102,65 e 7.374.818,34) de Madal-01, em área de domínio dos depósitos LMP e em desnível topográfico de cerca de 0,70 m em relação aos depósitos vizinhos LPF, mostrou uma sequência de depósitos aluviais interdigitados com depósitos de corridas de detritos e lama. Na base do testemunho foi encontrada a mesma litofácea pelítica de Madal-01, porém entre 16,5-16,5 m de profundidade. Comparando as duas profundidades de ocorrência dessa sequência lacustre em ambos os testemunhos, verifica-se um rejeito vertical de cerca de 6 m na posição da camada, evidenciando um abatimento de origem tectônica.

Figura 16: Perfil estratigráfico baseado no testemunho de sondagem Madal-02.
Fonte: Souza, 2015.

Tendo como base os dados obtidos nesses dois testemunhos de sondagem, a presença de várias anomalias de drenagem e relevo na área, o conjunto de eventos da evolução da planície costeira, e uma datação LOL obtida por Neves (2012) em um

terraço fluvial localizado no alto da Serra do Mar próximo à área da captura (29.000 ± 5.000 anos AP), Souza (2015) concluiu que a captura fluvial teria ocorrido após a construção desse terraço fluvial e antes do início de deposição das cascalheiras de LPF, ou seja, por volta de 20000 anos AP. A autora também sugere que essa captura foi resultado de uma fase de reativação do Gráben de Bertioga, impulsionada pelo tectonismo tardio do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB). Essa interpretação corrobora Ribeiro et al. (2006), que atribuíram essa captura como vinculada a uma fase de reativação tectônica do RCSB entre o Pleistoceno tardio e o Holoceno anteriormente citada na literatura (Riccomini et al., 2004).

Portanto, LPF e LMP tiveram uma origem única, evoluindo num mesmo sistema deposicional associado à paleobacia do Rio Guaratuba existente antes da captura fluvial Souza (2015). Segundo a autora, essa evolução foi interrompida pela reativação do Gráben de Bertioga, ocorrida provavelmente entre 4.040 e 3.520 anos AP, quando os terraços LPF foram falhados por falhas normais, dando origem a uma superfície abatida que se tornaria a “planície” LMP. Essa depressão foi então rapidamente preenchida por depósitos alúvio-coluviais que, posteriormente, sofreram entalhamento gerando um emaranhado de finos canais de drenagem divagantes, que podem ser observados na paisagem atual. Tal comportamento, segundo a autora, também parecem refletir anomalias morfotectônicas, de relevo e drenagem, formadas mais recentemente.

Os depósitos aluviais mais jovens (LHF), identificados por Souza (2007) nessa escala de mapeamento, ocorrem de maneira restrita, em especial numa área localizada na porção central da bacia do Rio Itaguaré. Estão encaixados ao longo de canais fluviais de ordem inferior à do rio principal, que circundam uma depressão paleolagunar isolada (LCD). Portanto, a presença desse depósito e o arranjo local da rede de drenagem constituem outras evidências morfotectônicas, caracterizando assim anomalias geológico-geomorfológicas de relevo e de drenagem (Souza, 2015).

3.3.2 Depósitos Continentais das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba: Características texturais, hídricas, pedológicas e a vegetação associada

Em relação às características texturais e pedológicas desses ambientes continentais das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba, merecem destaque os trabalhos realizados por Rossi (1999), Moreira (2007) e Martins (2009).

Os depósitos LPF são constituídos por uma ampla variedade litológica desde siltes arenosos (ambientes de planície de inundação), areias muito finas até muito grossas (barras, bancos e diques marginais) e cascalhos grossos a finos (depósitos de leito e barras). Os solos associados são Gleissolos Háplicos, Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos. Nos depósitos LHF predominam os sedimentos um pouco mais finos e Gleissolos Háplicos e Melânicos. Nos depósitos LMP os sedimentos predominantes são areias finas a muito finas e areias-siltico-argilosas no topo, que soterram areias até cascalheiras finas, e os solos são principalmente Cambissolos Háplicos e Flúvicos. Assim, como esperado, os parâmetros estatísticos granulométricos encontrados para todos esses sedimentos apresentam ampla distribuição do diâmetro médio e grau de seleção pobre a muito pobre. De acordo com Moreira (2007) e Martins (2009), esses padrões granulométricos evidenciam proximidade com a fonte sedimentar e alternâncias de energia dos agentes hídricos transportadores, como o fluvial e pluvial.

As características hidrogeológicas dessas unidades foram estudadas por Pereira (2011), que monitorou o nível do lençol freático (NA) entre agosto de 2009 e agosto de 2011, por meio de piezômetros instalados em cada UQ (Figura 17). Em LPF o autor verificou que o NA apresentou variações entre -1,89 m (maio/2010) e -1,24 m (outubro/2009). Em LMP o NA se apresentou subaflorante, tendo profundidade mínima de -0,89 m e máxima de 0,45 m (janeiro/2010), após chuvas intensas. O autor não monitorou os depósitos LHF.

Figura 17: (a) Perfil esquemático do Piôzmetro, no LPF . (b) Perfil esquemático do Piezômetro em LMP. Fonte: Pereira, 2011.

Estudos sobre a vegetação associada às UQs são encontrados em Souza et al. (2009) e Pinto Sobrinho (2012). Souza et al. (2009) mapearam os "sub-biomas" de planície costeira e baixa-média encosta dos rios Itaguapé e Guaratuba, tendo como base as associações encontradas entre 8 tipos de fitofisionimas, 12 tipos de UQs e 14 tipos de solos existentes nas planícies costeiras. As autoras apontam que o desenvolvimento dessas fitofisionomias teve estreita relação com a origem e a evolução do substrato geológico bem como a evolução pedogenética de seus solos, podendo ser classificadas como mais de clímax geo-pelógicos do que de clímax edáfico. Assim, os sub-biomas mapeados nos depósitos continentais são: Floresta Aluvial sobre Terraços Fluviais Pleistocênicos; Floresta alta de Restinga sobre Terraços Fluviais Holocênicos a Atuais; Floresta alta de Restinga Úmida sobre Depósitos Fluviais Holocênicos Atuais; e Floresta de Transição Restinga-Encosta sobre Depósitos Mistos.

Pinto Sobrinho (2011) realizou estudos fitossociológicos e florísticos nesses sub-biomas e encontrou os seguintes resultados: a Floresta Aluvial foi a que apresentou maior número de espécies exclusivas, provavelmente devido à maior facilidade de receber sementes vindas das florestas de Transição Restinga-Encosta e Ombrófila

Densa, que recobrem a Serra do Mar, sementes estas trazidas por pássaros, mamíferos e pelas enxurradas;

A Tabela 3 apresenta uma síntese sobre as compilações descritas acima.

Tabela 3: Características geológicas-geomorfológicas, pedológicas, hidrogeológicas e da vegetação associada aos ambientes de sedimentação continental presentes nas bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba.

Unidades Quaternárias	Características Geológicas-Geomorfológicas	Características Pedológicas	Características Hidrogeológicas (Nível do Lençol Freático)	Sub-Biomas
LPF	Terraços fluviais constituídos de sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos de idade pleistocênica a holocênica	Gleissolos Háplicos, Cambissolos Flúvicos, Neossolo Flúvico	0,50-1,50 m	Floresta Aluvial sobre Terraços Fluviais Pleistocênicos
LHF	Terraços e depósitos fluviais holocênicos a atuais constituídos de sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos	Gleissolos Háplicos e Melânicos	0,50-1,20 m	Floresta alta de Restinga sobre Terraços Fluviais Holocênicos a Atuais, Floresta alta de Restinga Úmida sobre Depósitos fluviais Holocênicos Atuais
LMP	Planície formadas por depósitos aluviais e colúvios de baixada de idade holocênica a atual	Neossolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos, Cambissolos Flúvicos e Háplicos	0,20-1,10 m	Floresta de Transição de Restinga-Encosta sobre Depósitos Mistos

4. MATERIAS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as principais etapas de desenvolvimento da pesquisa, aqui denominadas de trabalhos de escritório, trabalhos de campo, trabalhos de laboratório e forma de análise dos dados.

4.1 Trabalhos de Escritório

Os trabalhos de escritório abordam as atividades descritas a seguir.

- a) Levantamento bibliográfico sobre temas relevantes à pesquisa, com destaque para: ambientes sedimentares fluviais, evolução geológica-geomorfológica da área de estudo, estudos sobre morfotetônica e identificação de anomalias de drenagem e relevo, técnicas de extração automática de rede de drenagem em *softwares* de geoprocessamento e análises sedimentológicas.
- b) Trabalhos de fotointerpretação: foram utilizadas fotografias ortorretificadas (EMPLASA - 2010 e 2011) fornecidas pelo Instituto Geológico-SMA/SP, com o objetivo de avaliar o comportamento da rede de drenagem dentro das UQs mapeadas por Souza (2007), e identificar comportamentos anômalos de canais fluviais e das UQs na escala regional.

4.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados percorrendo-se várias áreas da planície costeira das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba (em especial), com destaque aos ambientes de sedimentação continental onde foram coletados os testemunhos de sondagem analisados nesta pesquisa (Souza, 2015).

Os objetivos foram: conhecer a área de estudo e os locais onde foram realizadas as sondagens mecânicas estudadas no presente estudo; compreender a relação entre as

diferentes UQs mapeadas por Souza (2007); conhecer como funcionam os ambientes de sedimentação atuais associados aos rios da área de estudo e como eles se relacionam com as unidades LPF, LMP e LHF; observar anomalias de relevo na escala de campo; observar os sistemas de juntas e fraturas mapeados nos terraços marinhos baixos pleistocênicos (LPTb).

Além de observações sobre as características geomorfológicas de cada UQ, foram também realizadas pequenas trincheiras para observação de parâmetros sedimentológicos e pedológicos.

4.3 Trabalhos de Laboratório

4.3.1 Identificação de anomalias de drenagem

Assad e Sano (1998) destacam a importância em obter informações remotas e aplicar em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) em análises ambientais. Conforme demonstrado por Bielenki (2012) as ferramentas de análises geoespacial permitem identificar, modelar e analisar variáveis abióticas e bióticas de uma região. Os softwares de SIG, como *ArcGis*, *GvSIG*, *QGis*, *Spring* e *TerraView*, entre outros, possuem compatibilidade com os sistemas operacionais Windows e Linux e utilizam o modelo georrelacional, também conhecido como arquitetura dual, onde são armazenados atributos referentes às variáveis de interesse.

Em se tratando de recursos hídricos, o uso de geotecnologias permite, por exemplo, identificar, modelar, integrar e subsidiar informações que gerenciam e também outorgas do direito de uso prioritários da água, como o consumo humano e dessentamentação de animais, irrigação, análises de potencial hidroelétrico, controle de enchentes, vulnerabilidade a processos erosivos, dinâmica de transporte de sedimentos, vias de contaminação hídrica, condições de navegabilidade, uso recreativos entre outros usos e aplicações diretas e indiretas.

A utilização para análise, interpretação e busca de novos resultados, na área de recursos hídricos, mais especificamente sobre a extração automática da rede de drenagem. A definição de drenagens por extração automática é apresentada na literatura

por modelos e algoritmos que passam por processos de aperfeiçoamento desde o fim da década de 1980. Muitos algoritmos são baseados na determinação da direção de fluxo, que a partir das cotas altimétricas, geradas pelos modelos de elevação do terreno previamente utilizados, permitem atribuir direções que por sua vez apontam os fluxos hídricos e hierárquicos.

A representação matricial do relevo nos conhecidos Modelos Digitais de Terreno – MDT (DTM - *Digital Terrain Model*) é a forma mais utilizada para as análises de geometria em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). As formas geradas por esses modelos, também conhecidas como superfícies digitais, têm como objetivo representar superfícies contínuas de forma discreta a partir de uma quantidade finita de dados, que são comumente chamadas de amostras e podem ser representadas matematicamente e graficamente. As formas mais comuns de representações gráficas do relevo são as grades regulares e irregulares. Segundo Mikhail et al. (2001) elas são uma representação digital da superfície terrestre através de um conjunto de pontos.

Outros termos criados para definir a modelagem de terreno são o Modelo Digital de Elevações (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). Segundo Paparoditis e Polidori (2002), o MDE é um termo geral usado para representar qualquer tipo de dados de elevação da superfície da terrestre. Assim, o MDT seria um tipo específico de MDE, que representa a superfície física do terreno, não incluindo objetos acima do mesmo, tais como vegetação e feições antrópicas. Mas quando a informação contém a maior elevação de cada ponto, proveniente do solo ou acima dele, então o modelo é o MDS.

A aquisição de dados para gerar um MDS pode ser através de curvas de nível digitalizadas, levantamentos de campo, imagens aéreas e ou satélite, e varredura a laser.

A partir desses modelos é possível, ainda, gerar mapas de declividade, extrair perfis do terreno, realizar cálculos, como mostrado nos estudos de Haala et al. (2010), e também aplicar o método de extração automática da rede drenagem.

Tendo em vista a elevada complexidade do comportamento da rede de drenagem em algumas UQs sob influência do Graben de Bertioga, em especial nos depósitos LPF e LMP (e.g. Moreira, 2007; Pereira, 2011), para a presente pesquisa optou-se pela tentativa de extrair a rede de drenagem por meio de ferramentas de geoprocessamento, para então identificar possíveis anomalias de drenagem.

Para tanto, foram necessárias várias etapas de trabalho, conforme descrito a seguir.

- 1) Aquisição da base de dados, no caso das ortofotos da EMPLASA
- 2) Elaboração do MDS, como etapa essencial para a extração automática da rede de drenagem.

É importante destacar que a utilização de imagens ópticas de alta resolução e a construção de algoritmos mais potentes têm possibilitado a geração de MDSs cada vez melhores e, conseqüentemente, permitido a extração mais refinada da rede de drenagem. Entretanto, na literatura nacional ou internacional não foram encontrados trabalhos de extração da rede de drenagem em planícies costeiras, o que dificultou o desenvolvimento desta etapa do trabalho.

- 3) A extração automática da rede de drenagem foi desenvolvida por meio do conjunto de ferramentas de Análises Espaciais (*Spatial Analyst Tools*), pertencentes ao software *ArcGis*®, na versão 10.5. Dentro do conjunto de ferramentas, foi utilizado a função *Hydrology* (Figura 18).

Figura 18: Representação do conjunto de funções pertencentes ao Spatial Analyst Tools. Fonte: ENSRI, 2017.

As ferramentas de modelagem hidrológica na caixa de ferramentas fornecem métodos para descrever os componentes físicos de uma superfície. As ferramentas hidrológicas permitem identificar bacias, determinar fluxos, calcular a acumulação de fluxos, delinear as bacias hidrográficas e criar redes de transmissão. A Figura 19, exemplifica esses processos.

Figura 19: Rede de fluxo a partir das Bacias Hidrográficas geradas. Fonte: ENSRI, 2017.

- 4) Após essa etapa, permite a entrada do Modelo Digital, com que pretendesse fazer as extrações de rede de drenagem, no caso dessa pesquisa o Modelo Digital de Superfície. Dessa forma o MDS é usado como entrada para a ferramenta Flow Direction, a direção em que a água fluirá de cada célula é determinada, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20: Determinação de direção de fluxo. Fonte: ENSRI, 2017.

- 5) A etapa seguinte é o preenchimento de vazios, com a ferramenta denominada *Sink*, que permite preencher os espaços vazios gerados por falhas ou valores incorretos de pixel existentes na base de dados (imagem ou foto originais). Isso assegurará que esses espaços não sejam “confundidos” pelo software como depressões no terreno, que acarretariam em erros na determinação dos fluxos. Um exemplo do processo é exibido na Figura 21.

Figura 21: Depressões identificadas ao longo do MDS

- 6) O passo seguinte é a aplicação da ferramenta *Flow Accumulation*, que permite que o modelo calcule o número de células que se deslocam para um determinado sentido e local como uma rede de transmissão, assim gerando o fluxo hidrográfico.
- 7) Um limite pode ser especificado no raster derivado da ferramenta de acumulação de fluxo, sendo necessário criar um novo raster de saída, que pode ser processado pelas ferramentas *Con* ou *Map Algebra*. Este processo facilitará a representação da ordem de fluxo gerado, que seria a próxima etapa. Um exemplo de sintaxe para gerar esse cálculo pode ser através da seguinte formula: “*newraster = con (accum > 100,1)*”. Assim, todas as células identificadas serão parte da rede de transmissão.
- 8) Assim, são gerados os Comprimentos de Fluxo e os Canais de cada bacia, por meio da ferramenta *Flow Length*. Esta ferramenta permite determinar: o percurso do escoamento, baseado nas curvas ascendentes ou descendentes, e assim determinar a hierarquia dos canais, baseadas nas ordens segundo

Stralher (Figura 22); e o comprimento de fluxo através da acumulação (Figura 23).

Figura 22: Identificação dos canais conforme sua hierarquia. Fonte: ENSRI, 2017

Figura 23: Comprimento de Fluxo

- 9) Uma vez extraída a rede de drenagem, a etapa seguinte foi validar os resultados a partir de comparações com mapas existentes (escalas 1:50.000 e 1:10.000) e de fotografias aéreas disponíveis para a área de estudo em várias escalas, por meio da análise de amostras de vários setores.
- 10) Para a identificação de anomalias de drenagem foram utilizadas as referências discutidas no Capítulo 2. Onde foi possível a geração de um Modelo Digital de Superfície, que são as mais comuns dentre as representações, bem como a criação de um Modelo Digital de Terreno, conforme apresentado por Mikhail, Bethel e McGlone (2001).

Para esta pesquisa, inicialmente aplicou-se todos os processo citados anteriormente, porém os resultados obtidos foram insuficientes, após vários detalhamentos e leituras, observou-se que para que houvesse uma melhoria nas interpretações que representa-se a superfície física do terreno com maior detalhe, não incluindo objetos que pudessem interferir na extração automática de drenagem, gerou-se um Modelo Digital do Terreno e partir de então foi possível aplicar a extração automática de rede drenagem e consequentemente identificar as possíveis anomalias de drenagem.

4.3.2 Abertura e descrição dos testemunhos de sondagem

Foram estudados 2 testemunhos de sondagem coletados em 2012, nas unidades LPF (Madal-01) e LMP (Madal-02).

As sondagens foram realizadas pela empresa Biosol Ltda. (Projeto Fapesp 2008/58549-0, coordenado pela Profa. Dra. Celia R. de Gouveia Souza), por meio de uma sonda robô que executa sondagem a percussão pelo método Geoprobe, o qual utiliza tubos amostradores transparentes (*liners*) de 1,5 m de comprimento, permitindo assim a visualização do conteúdo sedimentar ainda no campo. À época, a profundidade máxima de perfuração era de 24 m. As Figuras 24 e 25 mostram procedimentos de campo, equipamentos, materiais e os testemunhos coletados em ambas as áreas.

Figura 24: Procedimentos de campo, sonda Geoprobe, vista da área e liners de 1,5 m amostrados em LPF – Testemunho Madal-01. Fotos: Celia R. de Gouveia Souza, 2012.

Figura 25: Vista da área, procedimentos de campo (fechamento do liner) e liners amostrados em LMP – Testemunhos Madal-02. Fotos: Celia R. de Gouveia Souza e Agenor P. Souza, 2012.

Desde 2012, os testemunhos foram mantidos sob refrigeração no Laboratório de Sedimentologia do Instituto Geológico-SMA/SP.

As aberturas dos testemunhos, para descrição e coletas de sedimentos para análises, ocorreram durante os meses de outubro a dezembro de 2016.

A abertura desse tipo de testemunho exige uma ferramenta especial que corta as paredes laterais do tudo, garantindo assim que o sedimento permaneça intacto. Entretanto, a empresa responsável pela sondagem não pode disponibilizar essa ferramenta (Figura 26).

Figura 26: Ferramenta de corte utilizada para abrir os liners. Fonte: Abreu, 2017.

Assim, foi necessário construir uma ferramenta adaptada às necessidades da pesquisa. Uma primeira tentativa foi um protótipo caseiro da ferramenta original, porém após vários testes e reajustes, concluiu-se que ela não poderia ser utilizada por problemas de desalinhamento e consequente quebra constante da lâmina de corte (Figura 27). A segunda tentativa foi uma solução bem mais simples, mas que resultou em sucesso (Figura 28).

Figura 27: Ferramenta protótipo construída pelo Sr. Nelson Meletti Filho e resultado da abertura de um liner. Fotos: Celia R. de Gouveia Souza, 2016.

Figura 28: Ferramenta de corte e estrutura de apoio de liner idealizadas e construídas pelo Engo. Manuel Luiz Gouveia, e resultado da abertura. Fotos: Celia R. de Gouveia Souza, 2016.

Uma vez aberto o testemunho, o mesmo era fotografado e, na sequência, descrito detalhadamente.

As descrições visuais foram feitas observando-se todas as características dos sedimentos, tais como: tamanho dos grãos visíveis a olho nú (frações areia a cascalho), presença de siltes e argilas, grau de arredondamento dos grãos, grau de seleção,

composição mineralógica predominante, textura, cor, pegajosidade e plasticidade, presença de matéria orgânica particulada e dissolvida, espessura de pacotes ou camadas/lentes homogêneas, presença de estruturas sedimentares, identificação e delimitação de fácies sedimentares e interpretações sobre o ambiente de sedimentação no contexto da evolução da planície costeira apresentada em Souza (2015).

Para as descrições granulométricas visuais das frações silte médio a cascalho foi utilizado um encarte transparente contendo uma escala granulométrica (Figura 29). O grau de arredondamento/esfericidade também foi obtido com o auxílio dessa escala. A presença de pelitos mais finos (siltes finos a argilas) foi determinada por meio de testes degustativos simples usados em Geologia de campo (contato com língua e dentes) e de testes de plasticidade das amostras. As cores dos sedimentos foram determinadas a partir da Carta de Munsell, utilizada em Pedologia. Os demais parâmetros foram identificados com auxílio da literatura, em especial de Suguio (1973).

Figura 29: Descrição visual dos sedimentos do testemunho Madal-01 (1,5-3,0m), com auxílio de escala granulométrica transparente. Foto: Celia R. de Gouveia Souza, 2016.

Após as descrições eram efetuadas as coletas de amostras para granulometria, de 10 em 10 cm ou inferior se necessário, e também amostras para futuras análises, como:

datações por ^{14}C (Figura 30) e identificações de biodetritos e palinomorfos (polen, tecamebas, diatomáceas, fitólitos, espículas de esponjas).

Figura 30: Coleta de fragmento de madeira para fura datação por radiocarbono. Foto: Abreu, 2016.

As amostras para granulometria eram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, e posteriormente levados ao Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências-USP, para análise.

4.3.3 Análises granulométricas

A identificação de ambientes deposicionais através dos parâmetros estatísticos de distribuição granulométrica de sedimentos costeiros ganhou forte impulso a partir de meados do século XX, motivado pela indústria petrolífera em pesquisar as condições paleoambientais dos processos de sedimentação marinha. Um exemplo desses estudos foi o de Passega (1964), que inferiu condições de transporte e deposição através da correlação gráfica entre o primeiro e a quinquagésimo percentil de uma distribuição granulométrica.

Com a evolução tecnológica e, principalmente com a disponibilização de computadores pessoais, o emprego de técnicas matemáticas complexas aplicadas à sedimentologia foi se tornando gradativamente mais usual. Surgiram, então, programas capazes de fazer análises multivariadas e vetoriais, assim como de mapeamento e técnicas sofisticadas de interpolação espacial com o aumento, ou melhor dizendo, consequente incremento da qualidade de análise e representação dos resultados.

Desde então, o tratamento estatístico de dados granulométricos tem sido principalmente baseado nas equações de Folk e Ward (1957), que estabeleceram quatro parâmetros texturais: diâmetro médio, desvio padrão (grau de seleção), curtose e assimetria.

O diâmetro médio das partículas reflete a média geral de tamanho dos sedimentos, sendo afetada pela fonte de suprimento do material, pelo processo de deposição e pela velocidade da corrente (Suguio, 1973)

O desvio padrão ou grau de seleção dos sedimentos é relacionado ao retrabalhamento dos depósitos fluviais e reflete variações nas condições do fluxo (velocidade e turbulência) no ambiente deposicional (Ponçano, 1986). Este parâmetro varia de extremamente mal selecionado a muito bem selecionado.

A curtose é a medida que retrata o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência. A medida de curtose relaciona a razão entre as dispersões na parte central e nas caudas das curvas de frequência. As curvas platicúrticas são caracterizadas por caudas de sedimentos mais finos e mais grossos, indicando mistura de populações distintas. Nas distribuições leptocúrticas, os sedimentos são bem selecionados na parte central da distribuição (Suguio, 1973).

A assimetria varia de assimetria muito positiva a assimetria muito negativa. Tem sido usada com sucesso na identificação de ambientes em que predomina deposição (assimetria positiva) e remoção seletiva (assimetria negativa) (Duane, 1964).

As técnicas de laboratório usuais para análises granulométricas incluem os métodos de peneiramento, para sedimentos arenosos e mais grossos, e pipetagem, para os pelitos.

Mais recentemente, surgiu uma técnica que emprega a difusão da luz nas partículas por meio de um equipamento conhecido por *Mastersizer*, ou Granulômetro a laser. Este identifica a distribuição dos diferentes tamanhos de grãos de maneira mais precisa.

Durante muito tempo, os cientistas tentaram prever como as partículas difundem e absorvem a luz. Existem várias teorias e modelos pelos quais atualmente a aparelhagem pode nos guiar. Uma das teorias mais simples utilizadas é através do modelo de *Fraunhofer*. Esse modelo pode prever o padrão de difusão da luz criado quando se passa um disco sólido, opaco e de tamanho conhecido por um raio laser. Este modelo é satisfatório para algumas partículas, porém não descreve a difusão com exatidão. Muito poucas têm a forma de disco e a maior parte delas são transparentes.

A difusão da luz sobre as partículas é baseada na teoria de Mie, essa por sua vez foi desenvolvida de modo a prever a forma como a luz se difunde em partículas esféricas e estuda a forma como a luz atravessa ou é absorvida pelas partículas. Porém esta teoria torna-se mais exata conforme a entrada de dados, que o operador do granulômetro introduz ao iniciar a análise. O "ponto -chave" destas teorias é que, se souber o tamanho da partícula e outros pormenores acerca da sua estrutura, se pode com precisão o modo como a luz se difundirá. Cada tamanho de partícula terá o seu padrão de difusão característico, como uma impressão digital, distinto de qualquer outro tamanho de partícula (MALVERN, 1998).

Na presente pesquisa, as análises granulométricas foram feitas pelo método da granulometria a laser para as alíquotas das frações entre e 31,25 micra até 1000 mm (de silte grosso a areia grossa) e pelo método convencional de peneiramento para as alíquotas de tamanho superior a 1000 mm.

O Malvern é um equipamento que calcula matematicamente a granulometria dos sedimentos (ou outras partículas) a partir da difração que as partículas provocam num feixe laser. O modelo matemático adotado considera as partículas como esféricas, com o diâmetro da esfera equivalente à maior dimensão da partícula.

Esta premissa assumida na modelagem matemática para cálculo das partículas no granulômetro a laser é responsável por uma esperada diferença de resultados em relação ao ensaio de pipetagem, onde os cálculos baseados na lei de Stokes também partem do princípio de que as partículas são esféricas. Acontece que partículas com uma ou duas dimensões maiores que as outras, como costuma ser o caso nos argilominerais e filossilicatos, em geral vão ser computadas como esferas com diâmetro igual à maior dimensão no caso do granulômetro a laser, o que tende a resultar em tamanhos maiores. Enquanto que tais partículas em decantação na pipetagem vão apresentar resistência maior e velocidade de queda menor, sendo computadas como partículas com tamanhos

menores, conforme proposto no Manual de Procedimentos Analíticos, desenvolvido por Melo et al. (2007).

A consequência é que, comparando-se resultados de análises de uma mesma amostra, para granulometrias abaixo de 0,062 mm (limite superior do método de pipetagem), os resultados do granulômetro a laser tendem a mostrar partículas maiores que os resultados da pipetagem. Qual o resultado mais correto? Se por um lado, comparado com o peneiramento, a aproximação da partícula a uma esfera realizada pela modelagem no granulômetro aproxima-se mais da retenção da partícula na malha da peneira, por outro lado o longo tempo de decantação de partículas placóides, ainda que estas sejam relativamente grandes, reflete um comportamento hidráulico de fato mais próximo do real para as partículas pequenas.

Alguns aspectos importantes devem ser considerados na utilização do acessório Hydro 2000MU do granulômetro a laser para análises granulométricas:

- a) o tamanho máximo de partículas admissível, para que não haja possibilidade de danos no equipamento, é 1,6 mm, ou seja, Areia Grossa;
- b) amostras que contenham partículas maiores que 1,6 mm devem ser analisadas pelos métodos tradicionais de peneiramento, ou essas partículas deverão ser removidas previamente;
- c) uma variável no modelo matemático adotado é o índice de refração do material das partículas analisadas; a presença de partículas de materiais de diferentes naturezas (quartzo, opacos, restos vegetais, fragmentos de conchas), com diferentes índices de refração, distorce significativamente os resultados;
- d) a presença de matéria orgânica coloidal e/ou certos tipos de sais, tais como os presentes na água do mar, induz à aglutinação de partículas pequenas (argila, silte) na dispersão utilizada para as medidas.

Esses procedimentos para análises sedimentológicas, necessitam incluir procedimentos que visam evitar os problemas apontados. Resumidamente, partindo-se de uma alíquota com 5 a 10 g de amostra previamente preparada, as etapas da análise granulométrica utilizando-se o acessório Hydro 2000MU do granulômetro a laser são:

- a) desagregação branda da amostra seca, com pistilo de borracha;
- b) peneiramento em peneira de malha 1,410 mm (-0,5), que é a mais próxima, na escala, abaixo do limite de 1,6 mm tolerado pelo acessório Hydro 2000MU; caso a amostra mostre-se adequada para este procedimento, continuar com as etapas seguintes;

caso contrário, ponderar se é preferível adotar outro método, ou separar a amostra em duas porções, para utilização de dois métodos;

c) em béquer de 100 ml, dispersar a amostra em 50 ml de água deionizada, adicionando 0,1 g de pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$); agitar com agitador elétrico, e deixar decantar por 24 h;

d) remover a água límpida; centrifugar o material decantado à rotação de 12.000 rpm, iniciando-se com intervalo de tempo de 15 min.;

e) caso perceba-se floculação (agitar manualmente e verificar se há decantação rápida), remover a água límpida e refazer o volume inicial com água deionizada, repetindo-se a centrifugação quantas vezes necessário até que não mais se observe floculação; este procedimento auxiliará na remoção de sais que possam estar provocando aglutinação de partículas;

f) remover a água límpida e uniformizar a pasta centrifugada, utilizando-se espátula pequena, em forma de colher; esta uniformização é essencial para que o material a ser coletado para uso no Hydro 2000MU seja representativo da amostra, não sofrendo nenhum tipo de segregação durante a coleta;

g) recolher com a espátula pequena alíquota da pasta uniformizada, o necessário e suficiente para atingir a obscuração exigida pelo acessório; uma vez coletada esta alíquota, ela deverá ser totalmente utilizada no béquer do Hydro 2000MU, daí a necessidade de desenvolver prática de coleta da quantidade correta;

h) diluir a alíquota coletada em tubo com cerca de 100 ml de água deionizada; agitar manualmente até dispersar completamente a pasta, e despejar todo o conteúdo no béquer de medição do Hydro 2000MU, com auxílio de pisseta contendo água deionizada, para garantir que nenhum material permaneça no tubo.

Após esses procedimentos de preparação das amostras, faz-se a captação do padrão de difusão da amostra preparada, a este processo chamado de "medição". Esta é a função da unidade óptica. A matriz de detectores é constituída por vários detectores individuais. Cada detector captará a difusão de luz, a partir de uma gama de ângulos específica. A seguir é possível estabelecer um padrão de difusão de luz típico para cada amostra, conforme a Figura 31, onde é possível os dados da amostra "em branco", bem como a medição da amostra analisada, assim podemos interpretar os padrões granulométricos, passo esse referente ao próximo capítulo.

Figura 31: Gráfico de dados de difusão de luz. Fonte: Malvern, 1999.

Os parâmetros estatísticos utilizados para descrição dos dados granulométricos e sua distribuição são baseados nas equações de Folk e Ward (1957).

A visualização da distribuição granulométrica é muito importante na análise sedimentológica, pois que permite ter a noção imediata das características principais dessa distribuição. Existem várias formas de representação que, na realidade, correspondem a diferentes formas de “visualizar” as populações de partículas que constituem o sedimento.

Nesta pesquisa, as estatísticas tiveram seu padrão combinado de variação espacial testado, conforme o conjunto de amostras, de cada perfil, no qual se admite a existência de padrões indicadores do rumo de transporte ou de retrabalhamento sedimentar, sendo esses "mais finos, mais selecionados, mais negativos" (diâmetro médio maior na escala phi, menor desvio padrão e assimetria mais negativa) e "mais grosso, mais selecionado, mais positivo" (diâmetro médio menor na escala phi, menor desvio padrão, e assimetria mais positiva). Assim as observações e interpretações dessas variações desses padrões em um dado rumo espacial foi considerada como evidência de transporte sedimentar.

Os padrões de variação tiveram sua consistência verificada através de testes simples, como médias, desvios e correlações lineares que foram aplicados aos resultados granulométricos e de medidas morfométricas, procurando estabelecer características de cada perfil. Resultados das medidas estatísticas foram lançados em diagramas de barras, como forma de representar graficamente a estratigrafia de cada

perfil. (Madal 01 e Madal 02). Nos diagramas, as variações granulométricas foram obtidas com o software *Microsoft® Excel 2013*.

Cabe ressaltar que as frações granulométricas apresentadas estão em porcentagem acumuladas, por isso essas não estão representadas de 0 - 100 %. Uma vez que cada seção (perfil Madal 01 e 02), somam mais de 162 amostras, e ao serem representadas em um único gráfico, fechando então uma distribuição granulométrica, dificultando muito o entendimento e interpretação dos resultados, como pode ser visto nos Anexos 01 e 02.

Para que fosse possível inferir padrões ou rumo dos transportes sedimentares e/ou retrabalhamento, procurou-se combinar a análise de variação granulométrica com outros estudos e outros indicadores, por exemplo, mineralógicos ou morfométricos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Anomalias de Drenagem

Um dos resultados importantes derivados dos pré-processamentos necessários à obtenção do mapa de drenagem diz respeito à escolha de um modelo digital de terreno. Neste sentido, o Modelo de Digital de Superfície (MDS) revelou não ser o mais adequado para a área de estudo, uma vez que o mesmo, ao ser gerado a partir de fotografias aéreas ortorretificadas, apresentou informações onde o lineamento do pixel, bem como a contraposição com as cartas topográficas apresentassem deslocamentos e/ou deslocamentos horizontais, dessa forma ao gerar os preenchimentos dos vazios (sink), bem como todos os processos posteriores aplicados a técnica para a extração da rede de drenagem não apresentaram bons resultados. Ou seja, o método de busca no espaço-imagem baseia-se na determinação de pontos homólogos por correspondência de pares das imagens, que ao encontrar os pares homólogos, executa a interseção fotogramétrica para obter as posições tridimensionais destes pontos no espaço-objeto. Após esse processo é necessário combinar os resultados utilizando, por exemplo, a média das elevações obtidas para um mesmo ponto. Entretanto, como a variação altimétrica e a declividade na planície costeira são muito pequenas, o processo acaba resultando em muitos erros. Como consequência, a maioria dos canais não era identificado, uma vez que o *software* não conseguiu associar valores de altitude para cada pixel. A Figura 32 exibe um dos resultados com muitos problemas obtidos para a área de estudo.

Figura 32: Detalhe do Mapa de Drenagem gerado automaticamente sobre o MDS obtido a partir de ortofotos 1:10.000 na bacia do Rio Guaratuba. Notar a desconexão entre os canais de drenagem bem marcados na fotografia, em especial os tributários da margem direita do Rio Guaratuba e o próprio canal desse rio, e as linhas de drenagem (azuis) geradas pelo modelo. Notar também as linhas modeladas seguindo as obras lineares maiores, como a rede de alta tensão e o arruamento/canal artificial central do loteamento Morada da Praia.

Alguns trabalhos encontrados na literatura demonstram respostas próximas às encontradas nesta pesquisa, porém nenhum deles foi aplicado para planícies costeiras.

Para EL-SHEIMY et al. (2005) uma das principais dificuldades na extração automática de feições utilizando fotogrametria digital é a determinação automática das coordenadas imagens de pontos correspondentes para o cálculo das coordenadas no sistema de referência do terreno. Este tópico é definido como correspondência de imagens (*image matching*) que tem como objetivo encontrar fenômenos correspondentes em diferentes imagens. Os métodos mais comuns são aqueles baseados em áreas ou feições usando a correlação de uma pequena janela de imagem entre pares de imagens. Os autores ainda apontam que, em geral, os algoritmos e as práticas usadas nas estações fotogramétricas para a geração automática de MDS são diferentes para cada estação e, por isso, a acurácia e os problemas encontrados são muito similares na maior parte dos sistemas.

Segundo Costa et al. (2007), técnicas como a normalização de imagens (reamostragem das imagens para linhas epipolares) normalmente são utilizadas para a redução do espaço de busca no processo de correlação, ou seja, gera-se o que é conhecido como pirâmide de imagens, ou seja, faz-se uma reamostragem das imagens em níveis com diferentes resoluções e inicia-se o processo de correspondência do nível de resolução mais baixa (“topo da pirâmide”) até chegar ao nível com a maior resolução. Para cada nível da pirâmide, realiza-se a varredura por linhas da imagem, aplicando o processo de correspondência em pontos previamente analisados e que apresentam alta variância bidirecional. Na sequência a esse processo realiza-se o adensamento do modelo gerado, utilizando a pirâmide de imagem. Porém, uma desvantagem desse método de normalização da imagem é que ele provoca uma suavização no MDS, o que pode comprometer a resolução e os produtos gerados por correspondência, como a extração da rede drenagem.

Outro fator que pode contribuir para a geração de erros é a cobertura vegetal. No caso de florestas, como na área de estudo, os valores de altitude acabam sendo considerados espúrios, interferindo na identificação e no traçado dos canais de drenagem.

Da mesma forma, alterações antrópicas na paisagem, em especial as grandes obras lineares (estradas, linhas de alta tensão, oleodutos expostos etc.), podem constituir

vias artificiais de acumulação hídrica, e acabam sendo inadequadamente incorporados nos modelos gerados (vide Figura 32).

. Um método comumente aplicado, é conhecido como *Vertical Line Locus*, proposto em 1981 por Gyer. Este método proporciona uma restrição geométrica para o espaço de busca no processo de correspondência de imagens. O autor faz as seguintes análises para a formulação das correções; a correspondência é realizada através da correlação de janelas selecionadas e centradas em pontos no espaço objeto, ao longo da projeção de uma linha vertical. Esta técnica é similar à usada pelos operadores em reprodutores analógicos, que movimentam a intersecção das hastes mecânicas para buscar o ponto onde as marcas flutuantes coincidam com as feições homólogas (esteroscopia manual).

É determinado um valor máximo e um mínimo para o espaço de busca de elevação, da área sugerida, além de um valor Z , afim de buscar a acurácia desejada dentro do padrão de elevação além do espaçamento amostral, desta forma as coordenadas fotogramétricas de um ponto são calculadas a partir das equações de colinearidade em cada uma das imagens, no caso em questão aplicado nas ortofotos, fixando-se sua posição no plano altimétrico (X e Y), além de considerar um valor aproximado de elevação. As coordenadas são transformadas em colunas e linhas, desta forma cria-se permite criar janelas de torno dos pontos altimétricos, gerando então a similaridade entre elas. Todo esse processo é expresso na seguinte equação: (Equação 1)

$$Z_k = Z_0 + i \cdot \Delta Z$$

Seleciona-se a elevação Z_k que obtiver o maior grau de similaridade. Esta será a elevação estimada Z_P para o ponto P . Deve então ser escolhido um método que corresponda a comparação entre as janelas. A Figura 33, procura ilustrar o procedimento. É importante notar que os pontos ao longo da vertical possuem a mesma localização planimétrica (X e Y), mais as elevações diferentes e que a porção destacada (cor preta) possui a elevação que deseja determinar, ou seja, a correção para a formação do MDS.

Figura 33: Método Vertical Line Locus. Fonte: Adaptado de Gyer, 1981.

Ao aplicar o método é importante levar em consideração que os valores de altitudes aproximadas não devem ser muito distintos do real, pois a convergência pode ser comprometida e o custo computacional muito alto. Um valor de Z pequeno aumenta a acurácia da correspondência, mas o tempo de execução do processo se eleva. No caso para uma área onde são muitos os fatores que interferem nesse processo, como a planície costeira, onde as variações altimétricas são pequenas, no espaço entre cotas, bem como as interferências, como vegetação e ocupações antrópicas.

Por fim o método de VII, pode ser utilizado não apenas em um par de imagens, mas considerando mais de duas imagens simultaneamente, como apontou a figura 33. Além disso o método permite o trabalho com qualquer tipo de modelo de sensor e não apenas sensores de quadro. A desvantagem é o alto custo computacional quando não bem aplicado.

Desta forma, ao se aplicar esse processo após calcular o MDS, alguns pontos apresentaram-se picos, ou seja, elevações muito acima do real, ou vórtices (muito baixo) quando comparados com pontos vizinhos. Esses pontos são como espúrios e ocorre, devido a problema de falsa correlação. Para que pudesse remover esses pontos, então basta utilizar alguns filtros especiais baseados na vizinhança, assim a presença de erros

grosseiros remove os elementos acima do terreno e que não são pontos espúrios, como no caso da planície, alguns arruamentos, linhas de alta tensão, postes ou edificações, obtendo então a variação altimétrica, ou seja um Modelo Digital de Terreno.

Todos os filtros utilizados para fazer as correções necessárias são de extrema importância verificar o comportamento e acurácia dos pontos distintos, assim as classes geradas determinam os limiares ideais para cada caso. Esse processo é necessário pois a filtragem realiza uma suavização generalizada ao longo da superfície. Os filtros utilizados em diferentes pesquisas podem ser desde uma simples mediana entre pontos, como filtros para a classificação e exclusão de regiões de sombra, como apresentado por Costa et al, 2007, além de filtros que considerem a declividade do terreno, ou então filtros considerando uma superfície de tendência baseados na classificação prévia das imagens (MIYOSHI, TOMMASELLI e GALO, 2009).

Após analisar diferentes erros apontados, afim de aplicar as correções citadas anteriormente, foi possível então gerar um Modelo Digital de Terreno . O termo Modelo Digital de Terreno (MDT) segundo Kenzie and Petrie (1990) é uma representação estatística de uma superfície contínua do terreno por um grande número de pontos selecionados com coordenadas x,y,z conhecidas, em um campo de coordenadas arbitrárias. Utilizando um MDT é possível realizar diversas operações matemáticas e computacionais para sua visualização e quantificação, para facilitar análise e visualização podemos utilizar softwares com o ArcGis®, porém o modelo gerado para esta pesquisa, foi através da base citada no início, ou seja, a partir da Ortofotos e também através do MDS. O MDT, foi gerado pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC).

Este modelo, bem como os Shapes das áreas referentes a pesquisa, ainda está em desenvolvimento, uma vez que os mesmos ainda apresentam alguns erros e estão em fase de correções, porém podemos fazer muitas análises referente a rede hidrográfica, identificando assim as tão esperadas anomalias ao longo dos canais fluviais.

É de extrema importância destacar que antes da coleta de dados do MDT e dos Shapesfiles, foram as inúmeras tentativas e correções utilizando as Ortofotos e o MDS, bem como outras bases como forma de comparar metodologias, como por exemplo, a utilização de imagens SRTM e Cartas Georreferenciadas pertencente ao Exército Brasileiro, porém os produtos e as respostas encontradas foram muito inferiores, se comparadas as Ortofotos e o MDS, concedido pela EMPLASA, uma vez que tanto a

resolução desses produtos como a escala de análises não foram suficientes para atingir os objetivos desta pesquisa.

O modelo que se mostrou mais adequado para a obtenção da rede de drenagem foi o Modelo Digital de Terreno (MDT), que permite a identificação de centenas de classes altimétricas. Levando em consideração as características da área de estudo e os objetivos envolvidos, foram escolhidas 105 classes altimétricas, conforme resultado apresentado no Mapa 1.

Mapa 1: Mapa do Modelo Digital de Terreno (MDT). Fonte: Abreu, 2017.

Ao analisar as feições apresentadas nas classes apresentadas neste mapa, podemos iniciar o processo de análise das depressões (*fills*), que são responsáveis por gerar a rede de drenagem na ferramenta *hydrology*, ou seja, a resposta apresentada por esse Modelo Digital de Terreno, demonstra bons resultados para a metodologia proposta, além da análise da rede de drenagem, reafirmando como a geomorfologia local, está totalmente favorável para que pudéssemos apresentar os morfoindicadores tectônicos. Além desses produtos gerados e interpretados foi possível identificar as Unidades Quaternárias, pertencentes a área de estudo. comparando as cotas altimétricas geradas pelo modelo, facilitando então para as interpretações da rede hidrográfica.

É interessante destacar que ao utilizarmos como base a fotogrametria digital, podemos reconstruir automaticamente o espaço tridimensional, a partir de imagens bidimensionais, ou seja, a mesma acaba por automatizar a fotogrametria, levando em consideração que os equipamentos de informática hoje em dia permitem o rápido processamento de dados que surgem em consequência destes processos. Desta forma, é ideal para a criação de uma "maquina de mapeamento automático", capaz de reconhecer as feições do terreno automaticamente, extraíndo a forma do relevo da região mapeada, assim o MDT, é uma forma de um produto dessa automatização, sendo essencial para os estudos em geomorfologia. Porém, ainda existe pequenas deformações geradas dentro dos modelos o que torna o relevo da superfície terrestre, ou seja, pequenas desconformidades geradas o que torna praticamente impossível seu mapeamento automático, assim como apresentado anteriormente, (método VLL), demonstrando que ainda exigem a supervisão e eventual intervenção humana nos mesmos, conforme proposto por MATOS (2005) e BRITO; COELHO, (2002).

O Mapa 2 mostra a rede de drenagem extraída a partir desse MDT e sobre ela o traçado dos principais lineamentos de drenagem. Observam-se três sistemas de lineamentos presentes na Serra do Mar e também na planície costeira, cujas direções são: N-S, NE-SW e NW-SE.

Souza & Souza (2001) e Souza (2015) indicaram a ocorrência de sistemas de juntas (fraturas) subverticais mapeadas em terraços marinhos pleistocênicos de Bertioga (Figura 34), que apresentam as mesmas direções desses lineamentos, como exibido no Quadro 1.

Na tentativa de estabelecer uma correlação entre os lineamentos de drenagem e as juntas sistemáticas mapeadas na planície costeira, verifica-se que: os lineamentos NS corresponderiam às juntas de medidas NS, N05E, N07W; os lineamentos NE-SW

corresponderiam às juntas de medidas N55E, aos sistemas maiores como a Falha e o Gráben de Bertioga (N50E) e aos alinhamentos de rios maiores segundo a direção N60E; os lineamentos NW-SE corresponderiam às juntas N70W e N80W.

Figura 34: Possível controle estrutural no desmonte erosivo da falésia em terraço marinho baixo pleistocênico na desembocadura do Rio Itaguapé, dado por sistemas de juntas de direções EW e N55E. Fonte: Souza, 2015.

Quadro 1: Feições morfotectônicas e sistemas de juntas mapeadas na planície costeira de Bertioga e prováveis esforços tectônicos associados. Fonte: modificado de Souza, 2015.

FEIÇÕES MORFOTECTÔNICAS		JUNTAS SISTEMÁTICAS (VERTICAIS/SUB-VERTICAIS)	AD	JO	JC	ORIENTAÇÃO DE ESFORÇOS TECTÔNICOS	PROVÁVEIS TIPOS DE ESFORÇOS TECTÔNICOS
B E R T I O G A	Drenagens superimpostas; segmentos de drenagem retilíneos e alinhados (rios Itapanhaú e João Pereira): N60E, 12 km de extensão; microfalha em terraço marinho pleistocênico. (Falha de Bertioga - N50E).	EW (10/m) e NS (10/m)	90	X		EP1 V, EP2 = EP3	Esforços verticais (soerguimento/subsidência)
		N18E (10/m) e N70W (8/m)	88	X			
		N05E (9/m) e N80W (10/m)	85	X			
	Drenagens superimpostas; curso inferior do R. Itaguapé controlado por estrutura EW, com anomalia de relevo do embasamento (serrote de milonitos paralelo à linha de costa) e falésias controladas por juntas ortogonais subverticais; captura fluvial do Rio Guaratuba. (Falha de Bertioga - N50E).	EW (10/m) e N07W (8/m)	83	X		EP1 V, EP2 = EP3	Esforços verticais (soerguimento/subsidência)
		N55E (10/m) e EW (10/m)	35		X	EP2 V, EP1 N73E/H, EP3 N17W/H	Compressão horizontal N73E/H

(AD = Ângulo Diedral; JO = Juntas Ortogonais; JC = Juntas de Cisalhamento. ZS = Zona Sismogênica. EP1: Eixo de deformação máxima; EP2: Eixo de deformação intermediária; EP3: Eixo de deformação mínima).

Esses lineamentos são estruturas maiores que parecem controlar grande parte do arranjo da rede de drenagem na planície costeira, e condicionar as mudanças bruscas de direção e de padrão de drenagem. Neste sentido, os lineamentos NE-SW, que possuem a mesma orientação da linha de costa, condicionam nitidamente os canais principais das bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba na porção central da planície costeira, justamente onde se encontra o Gráben de Bertioga. Os canais menores, por sua vez, são controlados pelos sistemas NW-SE e NS. Todas essas direções são reconhecidas na literatura como estruturas maiores do embasamento pré-cambriano-mesozóico.

Além disso, as frequências de lineamentos identificados nessa escala são diferentes entre si, embora as distribuições de cada sistema sejam muito semelhantes nas duas bacias. Dentre os três sistemas, os lineamentos NS são os menos frequentes, totalizando cerca de 26,6% do total (128); os lineamentos NE-SW e NW-SE possuem distribuições próximas, representando, respectivamente, 35,2% e 48,3%. A Tabela 4 demonstra essas frequências de lineamentos de drenagem.

Tabela 4: Frequência numérica dos sistemas de lineamentos de drenagem identificados nas bacias de estudo.

Lineamentos	Itaguapé	Guaratuba	Totais
NS	16	18	34
NE-SW	21	24	45
NW-SE	23	26	49
Totais	60	68	128

Numa escala de detalhe, a intersecção desses sistemas de lineamentos condiciona o comportamento das zonas de meandramento e de compressões meândricas.

É interessante destacar que as direções dos lineamentos identificadas aqui se ajustam com as indicadas por Oliveira (2003) ao se reportar ao evolutivo da captura fluvial do Rio Guaratuba (Figura 35). Segundo a autora, o recuo erosivo da escarpa que determinou a captura do Rio Guaratuba, fez com que o rio saísse de sua direção original NE-SW (a mesma do RCSB) e abrisse uma garganta, descendo a escarpa numa direção geral N-S.

Portanto, essa parece ser mais uma prova de que a captura foi controlada estrutural e tectonicamente.

Figura 35: Evolução da captura do Rio Guaratuba. Fonte: Oliveira, 2003.

Chama a atenção ainda que lineamentos de orientação EW não aparecem no mapa, apesar de juntas com essa direção terem sido medidas na região. Segundo Souza (2015), exemplos desse sistema podem ser vistos nas falésias de terraços marinhos baixos pleistocênicos junto à foz do Rio Itaúgaré (vide Figura 34). Assim, elas podem ser controladas por estruturas menores que só aparecem na escala de detalhe.

Como visto anteriormente, a assimetria de bacia é um tipo de anomalia de drenagem identificada por meio da diferença no comprimento dos tributários de cada local do canal coletor, e indica alto grau de controle de drenagem por mergulho das camadas. Esta anomalia pode ser observada no Mapa 3, no setor de encosta das duas bacias de drenagem. Nas mesmas áreas onde essas anomalias estão presentes, observa-se também que a densidade de canais é bem maior que no restante da respectiva bacia.

Mapa 3: Exemplos de assimetria de bacia de drenagem (círculos vermelhos) e a localização da captura fluvial do Rio Guaratuba. Fonte: Abreu, 2017

Howard (1967), Lima (2002), Bezerra (2003) e Schumm et al. (2000), realizando análises de padrões de drenagem controlados tectonicamente, concluíram que os principais controles são exercidos por estruturas regionais, resultando em uma base hidrográfica distinta, com os seguintes tipos de padrões: paralelo, subparalelo, retangular, angular, treliça (treliça, treliça direcional, treliça recurvada, treliça em falha, treliça em junta), contorcido, palimpsesto, radial e anular. Alguns desses tipos são exemplificados na Figura 36.

Figura 36: Principais tipos de padrões de drenagem. Fonte: Huggett, 2007.

Quadro 2 mostra em detalhe alguns desses padrões encontrados na área de estudo, mas que serão detalhados posteriormente.

De maneira geral, os mapas 4 e 5 mostram que a presença de anomalias do tipo inflexão abrupta de canal (cotovelo) é maior na bacia do Itaguaré do que na do Guaratuba.

Os mapas 6 a 10 mostram, em detalhe, as anomalias de drenagem identificadas com base nos tipos de padrões controlados estrutural e tectonicamente, e na perspectiva das diferentes UQs.

Quadro 2: Representação de controles e padrões de drenagens.

Tipo de Drenagem	Descrição	Tipo de Controle	Autor	Esquema em Planta (nas bacias estudadas)
Inflexão abrupta (Cotovelo de Drenagem)	Inflexões abruptas do canal de drenagem, apresentando inflexões em cotovelo	Controle tectônico	Howard (1967); Schumm et al. (2000)
Simetria geométrica	Feições de rios diferentes assumem concomitantemente traçado de forma geométrica.	Controle tectônico e estrutural	Proposto pelo próprio autor???
Forte paralelismo com drenagem retilínea	Série de pequenos canais paralelos e simétricos partindo	Controle tectônico	Schumm et al. (2000) Summerfield (1991) Bishop (1995)

Mapa 4: Anomalias de Drenagem - Folha 1: Bacia do Rio Itaguapé. Fonte: Abreu, 2017.

No Mapa 5 é possível observar dois tipos de anomalias em geral associadas entre si: compressão de meandros e mudanças bruscas de orientação de canais (inflexões abruptas). Comparando essas anomalias com o Mapa de Lineamentos de Drenagem (Mapa 4), verifica-se que essas anomalias estão condicionadas por lineamentos N-S, NE-SW e NW-SE, conforme apontado pelas setas em vermelho no mapa. Além disso, A foz do Rio Itaguapé serpenteia um morro longitudinal do embasamento de orientação NE-SW, igual à linha de costa.

Mapa 5: Anomalias de Drenagem - Folha 2: Bacia do Rio Itaguaré. Fonte: Abreu, 2017.

No Mapa 6 chama a atenção o arranjo ortogonal dos canais de drenagem (afluentes do Rio Itaguapé) que compõem a unidade LHF. Esses canais, por sua vez, circundam a unidade LCD (depressões paleolagunares colmatadas, onde afloram depósitos pelíticos paludiais). Além disso, esses canais são caracterizados por acentuado meandramento e zonas de compressão meândrica bastante estruturada. Os controles estruturais aqui são devidos aos sistemas NS e NE-SW principalmente.

No entanto, é importante ressaltar que a compressão meândrica observada a montante do manguezal (LOL) do Rio Itaguapé, pode estar também relacionada à sobrecarga hidráulica causada justamente pelo encontro dos dois tributários, somada à ação das marés que adentram o manguezal e, portanto, refreiam o escoamento das águas doces, bem como ao intenso assoreamento que certamente ocorre nesse local e à diminuição considerável da declividade no manguezal (causa-efeito das demais características).

Inflexões abruptas na orientação dos canais fluviais também ocorrem no extremo NW do mapa, em depósitos de encosta (LCR).

Mapa 6: Anomalias de Drenagem - Folha 3: Bacia do Rio Guaratuba. Fonte: Abreu, 2017.

No Mapa 7, a compressão meândrica observada à montante do manguezal do Rio Guaratuba pode não constituir uma anomalia de drenagem em si, embora o Mapa de Lineamentos mostre que o local é controlado pela intersecção dos 3 sistemas. Da mesma forma que discutido para o Rio Itaguapé, pode haver ali também a influência de desajustes hidrossedimentológicos.

Por outro lado, quando se observa o comportamento do canal do Rio Guaratuba quando adentra o manguezal, verifica-se um controle marcado pela presença de inflexões bruscas de canal e segmentos retilíneos, que parecem caracterizar anomalias controladas pelos sistemas NE-SW e NS.

Além disso, a montante da zona de compressão meândrica do canal do Rio Perequê Mirim, observa-se outra possível inflexão abrupta de direção de canal, desta vez controlada pelo sistema NS.

No Mapa 8 fica evidente o padrão ortogonal da drenagem orientada segundo lineamentos NW-SE e NE-SW, cujos canais cortam a unidade LPF (drenagem é superimposta), a qual, por sua vez, circunda a unidade LMP. Portanto, tem-se aqui mais dois tipos de anomalias morfotectônicas.

Todo o Rib. da Fornoalha exibe compressão meândrica, com canais condicionados por fortes inflexões de orientação e segmentos retilíneos, todos controlados por lineamentos NW-SE e NE-SW. Esse rio deságua no Rib. Vermelho, o qual também exibe os mesmos tipos de anomalias, porém controladas por lineamentos NE-SW e NS.

A assimetria composta pode ser classificada por incluírem duas ou mais curvas simples (a curva simples é definida como um arco cujo comprimento medido ao longo de um trecho traçado entre pontos de tangência de um canal), cuja curvatura geralmente está orientada, mas não necessariamente, para o mesmo lado do rio, podendo então ser tangente ou conectada por linhas aproximadamente retas, onde normalmente evoluem pela união das curvas simples, podendo ser classificadas com assimétricas. Cada categoria é muito ampla e abrange variedade de formas, conforme proposto por Brice (1973 ; 1974) e Christofolletti (1981).

Mapa 7: Anomalias de Drenagem - Folha 4: Bacia do Rio Guaratuba. Fonte: Abreu, 2017.

Mapa 8: Anomalias de Drenagem- Folha 5: Bacia do Rio Guaratuba. Fonte: Abreu, 2017.

No Mapa 8 chama a atenção a recorrência de dois arranjos ortogonais de drenagens envolvendo os ribeirões dos Morrotes e Pedra Branca, ambos controlados por lineamentos NS e NE-SW. Esses canais cortam depósitos LCR, LMP e LPF.

Compressão meândrica é observada em trechos do curso do Rib. Pedra Branca, nos ambientes LMP e LCD.

O encaixamento de canais dos demais rios da planície costeira vistos nesse mapa (como o Rib. Vermelho) e inflexões abruptas na direção de seus canais também são controlados por lineamentos NS e NE-SW em LMP e LPTb.

Os resultados acima indicam elevado controle estrutural da rede de drenagem da planície costeira e baixa encosta da Serra do Mar, cujos canais são em sua maioria de caráter superimposto.

5.2 Descrição Visual dos Testemunhos de Sondagem Geológica e Análises Granulométricas

5.2.1 Descrição visual do testemunho Madal-01

Este testemunho de sondagem geológica, cujas coordenadas são 405.059,4216m e 7.374.971,1129m (UTM), possui 24 metros de comprimento e representa a sequência sedimentar dos terraços fluviais pleistocênicos a holocênicos da unidade LPF.

Datações LOE realizadas por Souza (2015) em sedimentos coletados a 18,52-18,98 m e 8,5-9,0 m de profundidade revelaram idades, respectivamente, de 17.150 ± 2200 e 4.810 ± 770 anos AP.

Na profundidade de 10,5-11,25 m e limitada por contatos bruscos Souza (2015) encontrou a única litofácies de sedimentos pelíticos de todo o pacote sedimentar, cuja idade do topo (10,5-10,53 m) é ^{14}C 7560-7420 anos cal AP (6.550 ± 40 anos AP). A autora interpretou esse depósito como de origem lacustre e associado ao máximo transgressivo holocênico.

As descrições visuais dos *liners* que compõem testemunho são apresentadas no Anexo 3, e foram organizadas do topo para a base. Alguns *liners*, em especial os contendo cascalheiras muito grossas não obtiveram recuperação total.

5.2.2 Análises granulométricas do testemunho Madal-01

Neste testemunho foram selecionadas para análise granulométrica 46 amostras.

A distribuição granulométrica é exibida nas Figura 37.

O testemunho Madal-01 apresenta ampla distribuição granulométrica, em que os sedimentos variam desde de cascalhos muito grossos até argilas médias.

Figura 37: Distribuição Granulométrica - Madal 01. Fonte: Abreu; 2017.

Em termos de sucessões estratigráficas, as sequências analisadas mostram um padrão geral formado por de ciclos deposicionais de granodecrescência ascendente, o que, de acordo com os modelos clássicos, reflete um regime em sistema fluvial meandrante. Entretanto, é importante ressaltar que a ocorrência de pulsos tectônicos certamente influenciou esses ciclos, em especial trazendo grandes quantidades de cascalhos grossos.

De maneira geral, as características sedimentares identificadas no testemunho demonstram claramente sedimentos com ampla distribuição de classes texturais, pobremente a muito pobremente selecionados, típico de origem em paleoambiente fluvial, com depósitos formados em diferentes subambientes e fluxos de energia deposicional. Assim, no contexto da área de estudo e da localização do testemunho, os sedimentos do tipo cascalheiras e areias muito grossas teriam se originado em ambientes de leito fluvial; os sedimentos entre areias grossas a médias seriam típicos de barras arenosas; já os depósitos entre areias finas e argilas remeteriam a ambientes de planícies de inundação e meandros abandonados (estes para os pelitos). Também não se pode descartar a contribuição de sedimentos provenientes de corridas de lama e detritos nessas sequências.

Entre 2,20m - 4,40m os sedimentos predominantes estão entre areia fina e argila média, com aproximadamente 60% do total analisado.

Na seção entre 4,40m - 6,60m apresenta sedimentos que vão de areia muito fina até cascalhos muito grossos que somam quase 55%, ou seja, mais da metade dos sedimentos de toda a seção, indicando novo ciclo de alta energia.

No intervalo entre 6,60m - 8,80m é possível observar que a maior quantidade de sedimentos varia de areais muito finas (0,25 mm) a argilas médias (0,00195 mm), ou seja próximos ao intervalo anterior, porém aqui já se apresentam sedimentos mais grossos (areia média até cascalhos muito grossos), que somados não chegam a 30% de toda a seção analisada, este pode ser representado como um contato brusco, o que justificaria a entrada de sedimentos com granulometrias maiores, se comparados as outras seções analisadas.

Na seção, entre 8,80 m - 11,00 m observa que as variações granulométricas estão entre areia média (1mm) e argila média (0,00195 mm), representando quase 80 % de toda seção.

Na seção, entre 11,00 m - 13,20 m os sedimentos variam de areias muito finas (0,125 mm) a argilas médias (0,00195 mm) somando 53%, indicando energia menor na formação desta sequência deposicional.

Entre 13,20 m - 15,40 m, as maiores porcentagens estão entre cascalhos grossos (6,35 mm) à areia fina (0,5 mm), somando próximo aos 70 % de toda seção. A distribuição granulométrica, com classes texturais mais grossas indica maior energia em relação aos anteriores.

Na seção, 15,40 m - 17,60 m, podemos observar um padrão granulométrico, onde as maiores porcentagens variam entre a classe da areia fina (0,5 mm) à muito fina (0,125 mm) apresentando um valor próximo aos 62%.

Entre 17,60 m – 19,80 m observa-se que a maior parte dos sedimentos varia entre areia média (1 mm) e silte grosso (0,0625mm), com valores próximos a 70 % do total analisado, prevalecendo o que pode ser visto nas seções anteriores.

Entre 19,80 m e 22,00 m de profundidade foi encontrado o manto de alteração do embasamento que sustenta esses depósitos, ou seja, o regolito ou saprolito. As características desse material (vide descrição visual) indicam uma rocha granitóide rica em feldspatos potássicos e cálcicos (cristais ainda visíveis) e biotitas. Isto pode ser evidenciado pela presença de argilas até cascalhos muito grossos nas amostras 19,80 m e 22,00 m.

5.2.3 Descrição visual do testemunho de sondagem geológica Madal-02.

O testemunho de sondagem Madal-02, coletado cerca de 200 m (coordenadas 405.102,65 e 7.374.818,34) de Madal-01, em área de domínio dos depósitos LMP e com desnível topográfico de cerca de 0,70 m em relação aos depósitos vizinhos LPF, mostrou uma sequência de depósitos aluviais interdigitados com depósitos de leques aluviais (corridas de detritos). Na base do testemunho foi encontrada a mesma litofáceis pelítica de Madal-01, porém entre 16,50 m - 17,55 m de profundidade. Comparando as duas profundidades de ocorrência dessa sequência lacustre nos dois testemunhos, verifica-se um rejeito vertical de cerca de 06 m na posição da camada, o que evidencia um abatimento de origem tectônica, como interpretado por Souza (2015).

As descrições em detalhe dos *liners* correspondentes a esse testemunho são exibidas no Anexo 04.

5.2.4 Análise granulométrica do testemunho Madal-02.

Neste testemunho foram analisadas 44 amostras.

A Figura 38 mostra a distribuição granulométrica das amostras selecionadas no testemunho Madal-02.

Os resultados mostram que, da mesma forma que o testemunho Madal-01, também este apresenta grande diversidade textural, variando desde de cascalhos muito grossos até argilas médias.

Figura 38: Distribuição Granulométrica – Madal 02. Fonte: Abreu, 2017.

No topo da seção (3,60m até o topo), pode ser observado a formação de camada pedogenética, aqui representado pelas características do Gleissolo Háplico, ou seja, os sedimentos são mais finos, as faixas mais representativas (80% da seção), são areia muito fina à argilas média (0,00195 mm).

Na seção de 3,60 m - 5,40 m, é possível observar que a maioria dos sedimentos apresentam-se entre areia fina (0,5 mm) à cascalho grosso (6,35 mm), somando aproximadamente 70 % do total analisado, devido à forte influência do nível do lençol freático.

Na seção de 5,40 m - 7,20m de profundidade, mais de 60% dos sedimentos analisados variam entre areia muito fina à cascalhos grosso (6,25 mm). Ao analisar essas seções verticais, nessas condições, onde apresenta uma alternância dos sedimentos ou processo de granocrescencia, podem estar associados por fluxos de detritos, esses originados da Serra do Mar, ou então por consequência da variação na descarga ou tectonismo, conforme apontado por Kifumbi (2014).

Na seção de 7,20 m - 9,00 m, essa tendência de granocrescencia, ou seja, os sedimentos aumentam sua granulometria em direção ao topo. Os sedimentos nesta seção mais representativos variam entre areia muito fina (0,125 mm) à cascalhos médio (4 mm).

Entre 9,00 m - 10,80 m, os sedimentos com maior espessura estão na faixa da areia fina (0,5 mm), ou seja, aqui os sedimentos apresentam-se com espessuras bem inferiores.

Entre 10,80 m - 12,60 m, os sedimentos apresentam-se com as frações entre areia média (1 mm) até argila média (0,00195 mm), assim podemos observar que provavelmente a energia dos fluxos, para a formação destes depósitos seria menor, facilitando a deposição desses sedimentos mais finos, somando quase 85 % desta seção.

Na seção de 12,60 m - 14,40 m, com pouco mais de 50 %, a presença de areia muito fina (0,5 mm) à cascalho médio (4 mm). É possível observar que, nesta seção demarca essa intercalação entre os sedimentos mais finos e mais grossos, mesmo que ainda prevaleça os sedimentos com maiores espessuras e a tendência, dessa intercalação diminui para o topo até que os sedimentos se apresentem com espessuras menores, migrando então para os padrões de areia média à fina.

Na seção de 14,40 m - 16,20 m, os sedimentos apresentam granulometrias entre areia fina (0,5 mm) até silte muito fino (0,00781 mm), assim apresentado o inverso da seção anterior, é possível observar que a energia do sistema atuou com menor intensidade. É interessante destacar que existe uma intercalação entre os sedimentos, partindo dos sedimentos mais finos e indo para os mais grossos, essa intercalação entre as seções demonstra claramente a formação do ambiente fluvial, esse regula-se pela entrada e saída de fluxos de energia.

A 16,20 m, em direção a base, as maiores porcentagens estão entre areia média e cascalho muito grosso, somando quase 75 % de todo o material analisado. Já base do pacote, a 18,0 m de profundidade, observa-se que as classes texturais variam entre areais muito finas até argilas médias. Essa amostra representa a sequência lacustre interpretada por Souza (2015).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese da relação dos indicadores morfotectônicos foi caracterizada neste trabalho pela geomorfologia. Isso significa que na área de estudo as formas de relevo são condicionadas pelo substrato geológico e respondem pelas Unidades Quaternárias correspondentes a área de estudo.

Quanto à metodologia, o rumo dos trabalhos desenvolvidos permitiu um caminho enriquecedor através da pesquisa morfotectônica, uma vez que esta embase-se em uma pesquisa multidisciplinar dentro das diferentes áreas da geografia física, o que implica no entendimento dinâmico dos fatores investigados. Os fenômenos possuem neste contexto atributo espaço-temporal e o enfoque principal se direciona ao entendimento do processo, e não do resultado apenas visível ou teorizado. O diagnóstico do meio físico nesta pesquisa que é resultado da investigação morfotectônica esteve assim calcado na capacidade de percepção dos fenômenos e características observáveis e mensuráveis, possíveis de representação cartográfica ou análises laboratoriais.

As distinções encontradas levaram o nível de percepção (empírico) entre a evolução dos depósitos quaternários e as características das anomalias encontradas, reflexo das formas do relevo e os substratos geológico-geomorfológico, abstraídos das seções sedimentares, resultando no diagnóstico geomorfotectônico. A definição das anomalias pôde ser concebida como diferentes situações de deposição dos sedimentos analisadas, correspondentes, com a dinâmica específica para cada unidade e portando possível de diferentes etapas deposicionais.

Este viés de pesquisa encaixa-se na perspectiva geomorfológico-geológica e propositadamente seguiu os estabelecimentos teórico-práticos apontados por Suguio e Martin (1976), Souza (2007) e (2015). Logicamente, não foram todos os passos que puderam ser seguidos, pois a partir dos diferentes níveis de percepção pelos autores seriam dadas as restrições dos meios definidos, dentro de cada pesquisa, contanto com diferentes atividades espaciais. Os produtos cartográficos desenvolvidos nesta dissertação podem direcionar adaptações locais em termos de indicadores, mais carecem de outras formas de interpretação aplicado à definição das unidades quaternárias. Não foi o escopo desta pesquisa a aplicação de novas metodologias e sim novos olhares,

sobre o levantamento das relações do meio físico segundo os fatores abordados (indicadores morfotectônicos, relevo, anomalias).

Se por um lado esta pesquisa não avançou ao caráter aplicativo-prático, atendo-se às questões relacionadas mais à gênese e distribuição dos fenômenos envolvidos, pode-se afirmar que os levantamentos alcançaram resultados além da expectativa. O trabalho em escala de detalhe obrigou a uma pesquisa mais aprofundada quanto aos fatores relacionados, e inclusive proporcionou questionamentos que acabaram por nortear boa parte da pesquisa.

O enfoque direto os padrões anômalos foi justificado pela necessidade do entendimento mais acurado do substrato geológico, do período quaternário na área pesquisada, por sua grande variação e complexa estrutural. Aproveitando a metodologia mais específica adotada, o tratamento dos dados hierarquizados mensurados em diferentes pesquisas, permitiu a esta pesquisa rever muitos métodos, principalmente tanto as técnicas em geoprocessamento, quanto nas análises granulométricas e estatísticas. Como a área de estudo desta dissertação encontra-se no contato entre as Unidades Quaternárias e a adoção da escala de trabalho foi de detalhe (1:25.000 para geração do MDT e 1:10.000 nos mapas de anomalias), a importância para compartimentação e o arcabouço geológico, percebia-se a influência da litologia sedimentar no delineamento da superfície. O que no início tratava-se da relação direta a morfotectônica interpretada como indicador direto acabou por apreciar também a questão de que poderia haver influência da estrutura sedimentar, essa que por sua vez está ligada a alguns fatores de ordem tectônica, que condiciona o modelado do relevo e seus materiais constituintes.

A investigação dos indicadores morfotectônicos, como o próprio título propõe, direcionou a pesquisa em um primeiro momento para o reconhecimento de campo e gabinete quanto ao relevo e litologia, dada a escala abordada, bem como a escolha da área de pesquisa. Como levantamentos de gabinete, foram fundamentais as fotografias aéreas da região, dados de instituições e apoio teórico-metodológico; como levantamento de campo, a observação dos depósitos e suas estruturas, medidas, observações de superfície e subsuperfície através dos perfis de sondagem, (Madalena 1 e Madalena 2), e as análises morfológicas dos sedimentos permitiram associar o contexto geomorfológico da área pesquisada.

Estabelecendo-se os indicadores morfotectônicos, atribui-se a síntese da relação dos depósitos-relevo na área de pesquisa, tal como exposto no capítulo anterior.

Basicamente, tentou-se definir as anomalias de drenagem e relação comportamental dos sedimentos, associados às formas de relevo. As unidades numéricas, estatísticas ou interpretações nem sempre correspondem aos possíveis indicadores morfotectônicos. No entanto, os mapas de anomalias de drenagem foram fundamentais para o entendimento na leitura cartográfica regional. O mesmo não pode ser dito da representação dos perfis estratigráficos, pois a associação está muito carregada devido a quantidade de amostragens geradas, porém procurou-se estabelecer a melhor relação possível dentro da relação, método-técnica.

Em um segundo momento, após as informações serem especializadas nos mapas e gráficos, foi possível estabelecer a combinação de campo e laboratório, o que na ciência geográfica, é de extrema importância para o aprendizado além acadêmico. A interpretação dos resultados de laboratório também levou a compreender o papel dos diferentes tipos de sedimentação ao longo de depósitos fluviais - aluviais; sua relação volta-se sempre a morfologia do terreno sobre a qual a paisagem é formada, especialmente se centralizado a morfologia hidrogeológica.

A partir deste ponto, começaram então surgir questões aos resultados. A existência das anomalias ao longo desses depósitos de dinâmicas sedimentares tão distintas e conectados a depósitos complexos e tão retrabalhados, gerou certas confusões apontada em função apenas interpretada como indicadores morfotectônicos. Esse controle pode ser melhor evidenciado em pontos distintos, como na região central da planície, onde conectam-se as bacias, apontados inclusive por Souza (2015), onde parte de sua pesquisa, foi através de sondagens (GPR), para identificar uma movimentação relativa e retrabalhamento desses depósitos, além de outras formas de validar essas movimentações de origem tectônica, que nesta pesquisa, as vezes torna-se confuso. Assim, também foi possível observar alguns fatos:

Nota-se evidente controle litroestrutural condicionando a rede de drenagem da planície costeira, traduzida pela presença recorrente de canais orientados segundo as direções NE-SE, NS e NW-SE, bem como anomalias de drenagem, tais como em diversos pontos ao longo da planície e faz com que esta siga a orientações, adquirindo disposições ortogonais, mudanças bruscas na orientação (cotovelos, compressão meândrica estrangulamentos de canais). Essas mesmas direções foram encontradas em sistemas de juntas mapeadas por Souza e Souza (2001) em espodossolos dúricos de terraços marinhos pleistocênicos dessa planície costeira.

A complexidade geológica dos depósitos da região já implicava no levantamento aerofotogramétrico, contudo, as relações estabelecidas para a criação e confecção dos mapas puderam atingir parte dos objetivos;

Essa mesma complexidade, implicou nas interpretações dos resultados granulométricos e estatísticos.

Sendo assim, além das relações funcionais básicas entendidas através da mitologias e procedimentos adotados, fica a possibilidade de algumas linhas de investigação que poderiam enriquecer as informações e associações realizadas nesta pesquisa:

- Levantamento mais detalhado nos domínios de Sistemas de Informações Geográficos e noções aplicadas a geometria de mapas aplicadas;
- Conhecimento mais detalhado das funções estatísticas granulométricas;
- Aprofundamentos nas leituras e levantamentos bibliográficos referentes as formações geomorfológicas e geológicas ao longo do período Quaternário;
- Aprimoramento nas metodologias e técnicas aplicadas nesta pesquisa.

Percebe-se que as investigações sugeridas implicam na aproximação da escala de trabalho para a melhor compreensão das relações do relevo, geologia estrutural, sedimentar e áreas afins ao conhecimento geográfico. Isso aplicaria talvez em diferentes análises locais, onde então o conjunto seria mais bem compreendido com uma boa densidade de levantamentos, porém para atingir tais ideias caberá então a novas perspectivas de análises científicas geográficas.

7. REFERÊNCIAS

AGENCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA (AGEM). 2002. **Indicadores metropolitanos da Baixada Santista. Tabelas, Mapas Gráficos, Vídeos. Secretaria dos Transportes Metropolitanos.** Conselho de Desenvolvimento da Baixada Santista – CONDESB. São Paulo, 2002/2003. (CD-ROM).

ALMEIDA, F.F.M. de. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 48 (supl.), p. 15-26. (Proceedings of the International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, October 1975).

ANGULO, Rodolfo José. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná.** 1992. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANGULO, R.J. & LESSA, G.C. 1997. **The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions.** *Marine Geology*, 140: 141-166.

ARAÚJO, D.S.D. 1984. **Comunidades vegetais.** P. 157. In: L.D. Lacerda, D.S.D.Araújo, R. Cerqueira & B. Turq (orgs.). **Restingas; origem, estrutura, processos.** Niterói, CEUFF.

Asmus, H.E. & Ferrari, A.L. 1978. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. In: PETROBRÁS. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES/DINTEP. p.75-88. (Projeto REMAC 4).

ASSUMPÇÃO, M.; Dias, F.L.; Zevallos, I.; Naliboff, J.B. 2016. Intraplate stress field in South America from earthquake focal mechanisms. *Journal of South American Earth Sciences*. v. 71. p. 278-95.

Assumpção, M. et al. **Intraplate stress field in South America from earthquake focal mechanisms.** *Journal of South American Earth Sciences*. v. 71. p. 278-95. 2016.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, R. F.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. **Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil.** *Journal of South American Earth Science* , v. 14, n. 1, p. 61-75, 2001.

BEZERRA, F.H.R., Barreto, A.M.F., Suguio, K. 2003. **Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil.** *Marine Geology*, 196 (1-2): 73-89.

BIGARELLA, João José; MOUSINHO, Maria Regina; SILVA, JX da. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim paranaense de Geografia**, v. 16, n. 17, p. 85-116, 1965.

BISHOP, P. **Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion**. *Progress in Physical Geography*, 19, n. 4, p. 449-47. 1995.

BISHOP, Paul. Stability or change: a review of ideas on ancient drainage in eastern New South Wales. **The Australian Geographer**, v. 15, n. 4, p. 219-230, 1982.

BRITO, J. N., COELHO, L. **Fotogrametria digital**. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Militar de Engenharia, 2002. Disponível em: < e-foto.sourceforge.net/e-book-pt.html>. Acesso em: 4 jan. 2005

BÜDEL, J. **Double surfaces of leveling in the humid tropics**. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 1, p. 223-225, 1957.

Burbank, D.W. e Anderson, R.S. 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science Ltd., 273p. (http://www.cec.uchile.cl/~fegallar/Tectonic_Geomorphology.pdf)

CASAGRANDE, J.C.; REIS-DUARTE, R.M.; SILVA, O.A. & BARBOSA, L.M. 2002. **Desenvolvimento da floresta de restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP) influenciado pelo teor de alumínio do solo: avaliação preliminar**. 53º Congresso Nacional de Botânica, Recife. Resumos, p. 405.

CHORLEY, Richard, HAGGETT, Peter. **Modelos sócioeconômicos em geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos/USP, p. 1-22, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia de São Paulo**, Ed. Edgard Blücher. 174p. 1980.

COTTON, A. 1968. **Geomorphology**. London, Witcombe & Tombs Limited. 187p.

COX, R. T. **Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt block tectonics: as example from the Mississippi Embayment**. *GEOLOGICAL SOCIETY OF AMÉRICA BULLELIN*, v.106, p. 571-581, 1994.

DE GRANDE, D.A. & LOPES, E.A. 1981. **Plantas da restinga da Ilha do Cardoso(São Paulo, Brasil)**. *Hoenea*, v.9, p. 1-22.

DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, v. 194, n. 3, p. 237-263, 1991.

Dillenburg, S.R. and Hesp, P.A. 2009. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences, 107, 380 p.

DUANE, D.B. 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Palmico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 864-874.

Embleton, B.J. Schmidt, P.W. e Palmer, H.C. (1987), **Magnetizações pré e pós-dobráveis do início do Devonado do Rio Nevado Volcanics e Buchan Caves Limestone, Victoria**. *Jornal Geofísico da Royal Astronomical Society*, 91: 155-170. doi: 10.1111 / j.1365-246X.1987.tb05218.x.

FREITAS, R.O.-1951- **Ensaio sobre o relevo tectônico do Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.13,n.2,p.171-222.

FOLK, R.L.; Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.

GIRARDI, A.C.S. 2001. **Subsídios Metodológicos para o Planejamento e Gestão de Restingas**. Estudo de Caso – Bertioga–SP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

GIANNINI, P. C. F.; GUEDES, C. C. F.; ASSINE, M. L. ; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; PESSENDA, L. C. R.; TATUMI, S.H. 2003. *Variação transversal e longitudinal de propriedades sedimentológicas nos cordões litorâneos da Ilha Comprida. litoral sul paulista*. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2003, Recife, PE. Anais....Recife, PE: Abequa, 2003.

GUEDES, Carlos Conforti Ferreira. **Evolução sedimentar quaternária da Ilha Comprida, estado de São Paulo**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GUEDES, C. C. F. et al. **Controls of heavy minerals and grain size in a holocene regressive barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil)**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, n. 1, p. 110-123, 2011.

GONTIJO, Ambrosina Helena Ferreira. **Morfotectônica do médio vale do rio Paraíba do Sul: região da serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. 1999. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Área de concentração em Geologia Regional.

GUY, Harold P.; SIMONS, Daryl B.; RICHARDSON, Everett V. **Summary of alluvial channel data from flume experiments, 1956-61**. US Government Printing Office, 1966.

HAALA, N; CRAMER, M.; JACOBSEN, K. The german camera evaluation project - results from the Geometry group. In: ISPRS, Calgary. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Calgary: ISPRS, 2010, vol.:XXXVIII.

HANCOCK PL, Williams GD (1986) **Neotectonics**. J Geol Soc London 143: 325–326

HOWARD, A.D. 1967. **Drainage analysis in geologic interpretation: summation**. Bulletin American Association of Petroleum Geologist, 51(11): 2246- 2259.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 2 ed. Londres e Nova York: Routledge, 2007.

IBGE. 2002. **Censo Demográfico - 2000**. (<http://www.ibge.gov.br>).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) - **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, São Paulo**, 1981.

KENNIE,T.J.M. and G.PETRIE, (1990), "**Introduction to Terrain Modelling - application _elds and terminology**", In: Terrain Modelling In Surveying and Civil Engineering, Edited by G.Petrie and T.J.M.Kennie, Whittles Publishing, pp. 1-3.

LATTMAN, L. H.; MATZIKE, R. H. Geological significance of fracture trace in photogrammetric engineering. **The American Society of Photogrammetry**, v. 27, n. 3, 1961.

LUEDER, Donald R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. 1959.

MALVERN, **Manual de Operação; Malvern Instruments Ltd**.Vol. 1. Worcerstershire, Reino Unido. 1998, 26 p.

MARTINS, Vanda Moreira. **Relação solo-relevo-substrato geológico na planície costeira de Bertioga (SP)**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MATOS, Ana Cristina de Oliveira Cancoro et al. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MELO, M.S. de; Riccomini, C.; Hasui, Y.; Almeida, F.F.M. de 1985. **Geologia e evolução das bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, v. 15, n. 3, p. 193-201.

MILLER, V.C.- (1961) - **Photogeology**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York - Toronto - London.

MIOTO, J. A. 1993. **Sismicidade e Zonas Sismogênicas do Brasil**. Rio Claro, 2 v. 558 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Rio Claro)MIOTQ, J.A. e HASUI, Y. 1982. Aspectos da estabilidade sismotectónica do Sudeste Brasileiro de interesse à Geologia de Engenharia. Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador (BA), vol. 4, p. 1652-1659.

Neves FV (2012) **Análise morfodinâmica da evolução da captura fluvial do rio Guaratuba (Bertioga – SP) através da técnica de datação por luminescência opticamente estimulada (LOE)**. Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo

OLIVEIRA, Déborah de. **A captura do Alto Rio Guaratuba: uma proposta metodológica para o estudo da evolução do relevo na Serra do Mar, Boracéia-SP**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OUCHI, Shunji. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. Geological Society of America Bulletin, v. 96, n. 4, p. 504-515, 1985.

PANIZZA M. & Castaldini D. 1987. **Neotectonic research in applied geomorphological studies**. Zeitschrift fur Geomorphologie. Suplem. 63 (Neotectonics and morphotectonics): 173-211.

PAVILIDES S. b. 1989. **Looking for a definition of neotectonics**. Terranova. 1 (3): 233-235.

PENTEADO,M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 158p. (Biblioteca Geográfica Brasileira. Sér. D. Publicação, 3)

PINTO, M.M. 1998 **Fitossociologia e Influência de Fatores Edáficos na Estrutura da Vegetação em Áreas de Mata Atlântica na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP**. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 112 p.

PONCANO, W.L. 1986. **Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira**. **Revista Brasileira de Geociências**, 16 (2): 157-190. Suguio, K. 1973. Introdução a Sedimentologia. São Paulo, Editora Edgar Blucher, 245 p.

QUEIROZ NETO, J. P. DE & KÜPPER, A. 1965. **Os Solos**. In. AZEVEDO, A. A. Baixada Santista: Aspectos Geográficos. EDUSP, São Paulo, v.1, p.67-92.

REIS-DUARTE, R. M.; CASAGRANDE, J.C.; SANTOS, D. A.; SILVA, O.A.; BARBOSA, L.M. 2003. **Fertilidade do Solo e Fisionomias de Floresta de Restinga da Ilha Anchieta – SP: Considerações para recuperação da vegetação.** Anais do Seminário Temático sobre Recuperação de Áreas Degradadas. São Paulo. Instituto de Botânica. 156-158p.

RIBEIRO AC, Lima FCT, Riccomini C, Menezes NA (2006). **Fishes of the Atlantic Rainforest of Boracéia: testimonies of the Quaternary fault reactivation within a Neoproterozoic tectonic province in Southeastern Brazil.** Ichthyol Explor Freshwaters 17(2):157-164

RICCOMINI, C. 1989. **O Rift continental do sudeste do Brasil.** São Paulo: Instituto de Geociências Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado).

RIVERAU, J. C. Notas de aula do curso de fotointerpretação-Publicado-pela Soc. Intern. Cult. Esc. Geol.(Ouro Preto) em XI Semana de Estudos, 1972.

ROCKWELL, T. K.; KELLER, E. A.; DEMBROFF, G. R. Quaternary rate of folding of the Ventura Avenue anticline, western Transverse Ranges, southern California. **Geological Society of America Bulletin**, v. 100, n. 6, p. 850-858, 1988.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Apoio FAPESP;IPT; USO, 1997.234p.

ROSSI, M. 1999. Fatores Formadores da Paisagem Litorânea: A Bacia do Guaratuba, São Paulo, Brasil. 168p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SENGÖR,A.M.C.; CANITEZ,N. –1982- **The north Anatolian Fault: alpine-mediterranean geodynamics.** American Geophysical. Union Geodynamics Series. v. 7: 205-216

SILVA, C.R. 2006. **Fitossociologia e Avaliação da Chuva de Sementes em uma Área de Floresta Alta de Restinga, em Ilha Comprida – SP.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica, São Paulo.

SOARES, Paulo Cesar; FIORI, Alberto Pio. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Boletim Geográfico**, v. 258, n. 259, p. 35-59, 1978.

SOUZA, C.R de G. & SOUZA, A. P. 2001. **Evidências de atividade tectônica quaternária no litoral paulista.** In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, VIII, Imbé (RS), 14-20/outubro/2001. ABEQUA. Boletim de Resumos, p. 302.

SOUZA, C.R. de G.. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, C.R. De G. **Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertioga (SP)**. XI Congresso da ABEQUA - Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Belém (PA) . (CD-ROM). 2007.

SOUZA, C.R. de G. 2003/2004. **Projeto SIIGAL: O SIGERCO para o Estado de São Paulo. Gerenciamento Costeiro Integrado**, nº 3, ano 2, p. 35-37.

SOUZA, C.R. de G. Mapeamento de compartimentos fisiográficos da 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. **The Bertioga Coastal Plain: An Example of Morphotectonic Evolution**. In: Vieira, B. C.; Salgado A.; Santos L. (org). **Landscapes and Landforms of Brazil**. São Paulo: Springer, 2015. Cap. 11, p. 115-134.

SOUZA, C.R. de G.; LOPES, E. A. & XAVIER, A. F. 2005. **Mapa de vegetação nativa de planície costeira e baixa-média encosta e estados de alteração para o Litoral Norte de São Paulo (Projeto SIIGAL)**. Simpósio Regional de Recuperação de Áreas Degradadas, São Vicente (SP). Anais (CD-ROM).

STEWART, I.S.; HANCOCK, P.L. -1994- Neotectonics. In.: HANCOCK, C.L.(Ed.) **Continental deformation**. :Pergamon Press. p.370-410.

STERN, Frank; HOWARD, W. E. **Properties of semiconductor surface inversion layers in the electric quantum limit**. Physical Review, v. 163, n. 3, p. 816, 1967.

Suguio, K., Martin, L., 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. Int. Symp. Coastal Evolution in the Quaternary. The Brazilian National Working Group for the IGCP, Project 61. Instituto de Geociências-USP, Spec. Publ. 1.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1987. **Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do Sudeste e sul do Brasil**. Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira – Síntese dos Conhecimentos, Cananéia-SP. Publicação Aciesp, v. 1, p. 1-28.

SUGUIO, K., MARTIN, L.. 1996. The role of neotectonics in the evolution of the Brazilian coast. **Revista Geonomos**, v. 4, n. 2,

Suguio K, Martin L, Bittencourt ACSP, Dominguez JML, Flexor M, Azevedo AEG 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do

litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev Bras de Geoc* 15: 273–286. Suguio et al. 2005 (capítulo do Livro do Quaternário)

SUMMERFIELD, M. A. **Tectonic geomorphologic. Progress in Physical Geography.** v. 15, n. 2, p. 193-205. 1991.

SUMMERFIELD, Michael A. **Global geomorphology.** Routledge, 2014.

TANAKA, Ana Paula Burgoa. **Evolução sedimentar da planície retrobarreira de Campos Verdes (Laguna, SC) e os sambaquis de Carniça.** 2007. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

TANAKA, Ana Paula Burgoa et al. A planície costeira holocênica de Campos Verdes (Laguna, SC): evolução sedimentar inferida a partir de georradar (GPR), granulometria e minerais pesados. **Revista brasileira de Geociências**, v. 39, n. 4, p. 751-767, 2009a.

TANAKA, A. P. B., Giannini, P. C. F., Fornari, M., do Nascimento Junior, D. R., Sawakuchi, A. O., Rodrigues, S. I., ... & Porsani, J. L. (2009b). **A planície costeira holocênica de Campos Verdes (Laguna, SC): evolução sedimentar inferida a partir de georradar (GPR), granulometria e minerais pesados.** *Revista brasileira de Geociências*, 39(4), 751-767.

TRIFONOV, V.G. 1989. **An overview on neotectonic studies.** *Intern Geol. Review* 31: 111-160.

THORNBURY, W.D. **Principles of geomorphology.** 2.ed. New York: J. Willey, 1966.

VELOSO, H.P.; RANGEL Fº, A.L.R. & LIMA, J.C.A. 1991. Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro. IBGE – DERMA. 124p.

VITTE, Antonio Carlos. **A construção da Geomorfologia no Brasil.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Vol. 12, Fac. 3, pp. 91-108. 2011.

WERNICK, EBERHARD; SINELLI, Osmar. Análise estrutural em Geomorfologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 10, n. 20, p. 39-54, 1970.

ANEXO 01

Anexo 1: Perfil Estratigráfico com todas as amostras Madal 01

ANEXO 02

Anexo 2: Distribuição granulométrica com todas as amostras Madal 02

ANEXO 03

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 0,0 -1,5 METROS.	FOTO SEÇÃO
<p>Recuperado 1,04 metros. Seção: 0,00 - 0,10 m.</p> <p>Nesta seção é possível presenciar o início do Horizonte A (Cambissolo Háplico). Identificação de matéria orgânica.</p> <p>Sedimentos : textura argilosa com pouca areia na fração muito fina.</p>
	<p>Seção : 0,10 -0,20 m.</p> <p>Sedimento: textura argilosa com areia na fração muito fina. Características de Horizonte A ainda predominante.</p>
	<p>Seção: 0,20-0,30 m.</p> <p>Sedimentos : Início do horizonte C, Silte -arenoso com pouca argila .</p>

<p>Seção: 0,30-0,40 m.</p> <p>Sedimentos: Silte -arenoso com pouca argila .</p>
	<p>Seção: 0,40-0,50 m.</p> <p>Sedimentos: Areia muito fina siltica com presença de micas Com cor "acinzentadas".</p>
	<p>Seção: 0,50 -0,60 m.</p> <p>Sedimentos: Areia muito fina com presença de micas com cor "acinzentadas".</p>

<p>Seção: 0,60 - 0,70 m</p> <p>Sedimentos: Areia Fina, com presença de mica com cor "acinzentadas". É possível observar uma oxidação, talvez por ser um ambiente que esteve exposto.</p>
	<p>Seção: 0,70-0,80 m.</p> <p>Sedimentos: Areia Média, com micas o sedimento começa a apresentar com granulometrias maiores.</p>
	<p>Seção: 0,80-0,90 m.</p> <p>Sedimentos: Areia grossa com micas variando de cor "acinzentada" para cor ocre.</p>

<p>Seção: 0,90-1,00 m.</p> <p>Sedimentos: Areia grossa com micas variando de cor "acinzentada" para cor ocre.</p>
	<p>Seção: 1,00-1,04m.</p> <p>Sedimentos: Areia muito grossa com micas variando de cor "acinzentada" para cor ocre. Desta seção para baixo não houve recuperação do perfil, provavelmente os sedimentos aumentam a espessura, migrando para cascalhos finos.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 1,5 -3,0 METROS. Recuperados 0,51 m.	FOTO SEÇÃO
<p>Seção : 1,50-1,60 m. Recuperados 0,51 m.</p> <p>Sedimentos: Aparecem aqui, granulometrias na faixa areia grossa, com muito mica.</p> <p>É possível observar o efeito da pedogenização.</p> <p>Este perfil está muito próximo ao N.A , provavelmente o fato de não ter sido totalmente recuperado.</p>
	<p>Seção: 1,60-1,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção já é possível ver areia muito grossa, diferente da seção anterior do que foi visualizado na seção anterior.</p>

<p>Seção: 1,70-1,80m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção, é possível ver uma intercalação de areia grossa e areia muito grossa, com presença de mica em toda seção.</p>
	<p>Seção: 1,80- 1,90 m.</p> <p>Sedimentos: A intercalação entre areia grossa e muito grossa ainda é visível, porém a predominância é de areia grossa.</p>
	<p>Seção: 1,90-2,01 m.</p> <p>Sedimentos: Na base dessa seção pode ser visto areia muito grossa, provavelmente essa intercalação entre as faixa granulométricas, deve-se a proximidade do N.A, assim, os sedimentos abaixo apresentariam areia muito grossa à cascalhos.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 3,0 -4,5 METROS. (Recuperados 0,35 m)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 3,00 -3,10 m.</p> <p>Sedimentos: Aqui podemos ver a forte influencia do N.A, uma vez que os sedimentos se apresentam com granulometrias na faixa de areia grossa à cascalhos médios (base da seção).</p> <p>É possível ver micas e uma mescla entre argilas e silte</p>
	<p>Seção : 3,10 - 3,20 m.</p> <p>Sedimentos: Areia muito grossa, com grãos dispersos de cascalhos finos, com presença de micas</p> <p>É visível observar grãos de quartzo na fração areia média.</p>
	<p>Seção: 3,20- 3,30 m.</p> <p>Sedimentos: Areia muito grossa mesclado com cascalhos finos, de cor cinza médio.</p> <p>Nesta seção é possível identificar fragmentos de rochas.</p>
	<p>Seção: 3,30 - 3,35 m.</p> <p>Sedimentos: Na base deste perfil, podemos encontrar cascalhos finos à grossos e um fragmento de rocha com aproximadamente 3 cm, de espessura, marcando então a forte influencia do N.A. Aqui podemos também observar uma oxidação, devido a cor dos sedimentos.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 4,5 - 6,0 METROS. (Recuperados 0,27 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 4,50 - 4,60 m</p> <p>Sedimentos: Este perfil apresenta frações granulométricas na faixa de cascalhos finos à médios.</p> <p>Foi possível identificar um cascalho mal selecionado e também areia muito grossa.</p> <p>É possível observar fragmentos vegetais, bem ao topo da seção.</p>
	<p>Seção : 4,60 - 4,70 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção também é possível observar sedimentos que vão de areia muito grossa até cascalhos pequenos à médios, com destaque para os médios, indicando a origem de sua formação.</p>
	<p>Seção: 4,70 - 4,77 m.</p> <p>Sedimentos: Ao fim da seção pode ser observado cascalhos finos à médios e também pequenos grãos de quartzo com sinais de oxidação, provavelmente por ter ficado exposto.</p> <p>A sequência abaixo não recuperada, tende apresentar cascalhos médio a grosso.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 6,0 - 7,5 METROS. (Recuperados 0,91 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 6,00 - 6,10 m.</p> <p>Sedimentos: É possível observar nesta seção um cascalho médio que diminui sua granulometria no sentido topo-base, chegando apresentar argilas-sílticas mais.</p> <p>O cascalho fino migra para uma areia média, nesta primeira seção.</p> <p>Cor predominante: 10YR 7/6 , (cinza médio)</p>
	<p>Seção : 6,10 -6,20 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível identificar presença de material orgânico, onde a granulometria predominante é areia muito fina à fina, com presença de mica</p> <p>Cor predominante: Gley 2 7/5PB (cinza)</p>
	<p>Seção: 6,20-6,30 m</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos predominantes, são areia muito fina-síltica-argilosa, com presença de matéria orgânica e micas na fração areia fina.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 7/5PB (cinza)</p>

Seção: 6,30-6,40m.

Sedimentos: Nesta seção, os sedimentos predominantes é silte argiloso, com intercalações entre argila-síltica, com presença de mica na fração areia muito fina.

Cor predominante: Gley 2 7/5PB (cinza)

Seção : 6,40-6,50 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos voltam a apresentar granulometrias maiores, na faixa de areia muito fina, com intercalações de areia muito fina síltica. Nesta seção marca o fim desses materiais mais finos, podendo marcar então o que seria locais próximos áreas de alagamento.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção: 6,50-6,60 m.

Sedimentos: Os sedimentos estão na faixa de areia média à grossa, aqui é possível observar um contato gradacional, onde os sedimentos tendem a granulometrias maiores.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção: 6,60-6,70m.

Sedimentos: Nesta seção a continuidade de areia fina-siltica com pouca argila e presença de mica com granulometria na faixa de areia fina.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção : 6,70 -6,80

Sedimentos: Nesta seção a continuidade de areia fina-siltica com pouca argila e presença de mica com granulometria na faixa de areia fina, com intercalações de areia média , porém apresentam quantidades de restos vegetais

Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)

Seção: 6,98- 6,90

Sedimentos: Nesta seção, já a base do perfil, é possível observar sedimentos com granulometrias de areia muito fina siltica com pouca argila. Assume-se que na base da seção poderia conter quantidades de areia muito grossa à cascalhos, que não foram recuperados.

Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 7,5 - 9,0 METROS. (Recuperado totalmente.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 7,50 -7,60m.</p> <p>Sedimentos: É possível observar nesta seção que o material recorrente apresenta granulometria muito pequena, como sítte areno-argiloso. Porém é possível observar pequenos grânulos de quartzo.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)</p>
	<p>Seção : 7,60 -7,70 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam granulometria na faixa areia muito fina -siltica, com micas na faixa de areia muito fina.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)</p>
	<p>Seção:7,70 -7,80 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam granulometria na faixa areia muito fina -siltica, com micas na faixa de areia muito fina, características iguais a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)</p>

Seção: 7,80 -7,90 m.

Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam granulometria na faixa areia muito fina -siltica- argilosa, com micas na faixa de areia muito fina.

È possível observar matéria orgânica ao longo dos próximos 0,30 metros.

Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)

Seção : 7,90-8,00

Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam granulometria na faixa areia muito fina -siltica- argilosa, com micas na faixa de areia muito fina.

Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza)

Seção: 8,00 - 8,10 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia fina, com muita mica e biotia na faixa areia muito fina.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção: 8,10- 8,20m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia fina, com muita mica e biotita na faixa areia muito fina.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção : 8,20 - 8,30 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometrias maiores, na faixa areia média à grossa, com presença de grão de quartzo e biotita, ou seja, os sedimentos comparados as seções anteriores estão com granulometrias maiores.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção: 8,30-8,40 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometrias maiores, na faixa areia média à grossa, com presença de grão de quartzo e biotita, ou seja, os sedimentos comparados as seções anteriores estão com granulometrias maiores, muito próximo com o que foi apresentado anteriormente.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção: 8,40-8,50m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia média à grossa.

Nesta seção foi registrado a presença de uma raiz de árvore, ou um pequeno "tronco-fóssil" com tamanho de 4 cm.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção : 8,50 - 8,60 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia média à grossa.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção: 8,60 - 8,70 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia muito grossa com a presença de cascalhos finos.

Cor predominante: Gley 3 5/5PB (cinza)

Seção: 8,70-8,80 m

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia muito grossa com a presença de cascalhos finos, muito próximo com o que foi visto anteriormente.

Cor predominante: Gley 3 5/5PB (cinza)

Seção : 8,80-8,90

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia muito grossa com a presença de cascalhos finos. Com presença de matéria orgânica

Cor predominante: Gley 3 5/5PB (cinza)

Seção: 8,90 - 9,00 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de areia muito grossa à cascalhos médios, com presença de grãos de quartzo e biotita, marcando então uma mudança de ambiente de sedimentação, quando comparado as seções anteriores.

Seção: 8,90 -9,00 m

Sedimentos: Podemos observar que este perfil provavelmente poderia ser um depósito de leque, sobre uma planície de inundação, apresentando um contato brusco, através dos contatos com os sedimentos maiores.

Nesta seção foram separadas 17 amostras, para futuras datações de C^{14} , através das materias orgânicas encontradas ao longo de toda seção, afim de podermos então validar o período exato de deposição e formação do ambiente.

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 9,00 - 10,50 METROS. (Recuperado totalmente)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 9,00 - 9,10 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar sedimentos com granulometria na faixa de areia média à grossa. Foi possível identificar pequenos grãos de quartzo e também a presença de matéria orgânica.</p> <p>Cor Predominante: Gley 2 3/5PB (cinza-médio)</p>
	<p>Seção : 9,10 - 9,20m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção, apresentam com granulometrias maiores do que da seção anterior, na faixa de areia grossa à muito grossa.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza-médio)</p>
	<p>Seção: 9,20 -9,30 m</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometrias na faixa de areia muito grossa, é possível observar grânulos disperso de quartzo, abaixo dos 9,25 metros.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5PB (cinza-médio)</p>

Seção: 9,30-9,40 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam um contato brusco, onde os sedimentos estão na faixa de argila-siltica com muita mica na faixa de areia fina.

Cor predominante: Cor predominante: Gley 2 5/5PB (cinza)

Seção : 9,40 - 9,50 m

Sedimentos: Os sedimentos nessa seção apresentam muito próximos com a seção anterior ou seja, faixa de argila-siltica com muita mica na faixa de areia fina.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB

Seção: 9,50 - 9,60 m.

Sedimentos: Nesta seção, os sedimentos voltam a apresentar granulometrias maiores, na faixa areia fina a muito fina, com mica na faixa de areia média.

Cor predominante: Gley 2 5/5PB

Seção: 9,60 - 9,70m.

Sedimentos: Nos próximos 0,40 metros, os sedimentos apresentam granulometrias homogêneas. Na faixa de areia fina a muito fina com muita mica na faixa de areia média.

Cor predominante: Gley 2 3/5 PB

Seção : 9,70-9,80 m

Sedimentos: Os sedimentos estão na faixa de areia fina a muito fina com muita mica na faixa de areia média

Cor predominante: Gley 2 3/5 PB

Seção: 9,80-9,90 m

Sedimentos: Os sedimentos estão na faixa de areia fina a muito fina com muita mica na faixa de areia média

Cor predominante: Gley 2 3/5 PB

Seção: 9,90 - 10,00 m.

Sedimentos: Os sedimentos estão na faixa de areia fina a muito fina com muita mica na faixa de areia média

Cor predominante: Gley 2 3/5 PB

Seção : 10,00 - 10,10 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometria na faixa de argila que tende para menores frações no sentido base da seção.

Cor predominante: Gley 2 3/5 PB

Seção: 10,10 - 10,20 m.

Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometrias silte argilo- arenosos nesta seção, onde é possível observar intercalações de fragmentos vegetais, na base desta seção.

Cor predominante: Gley 3 5/5 PB

Seção: 10,30- 10,40 m.

Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometrias silte argilo- arenosos nesta seção, onde é possível observar intercalações de fragmentos vegetais, na base desta seção.

Cor predominante: Gley 3 5/5 PB

Seção : 10,40-10,50 m

Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometrias silte argilo- arenosos nesta seção, onde é possível observar intercalações de fragmentos vegetais, na base desta seção.

Cor predominante: Gley 3 5/5 PB

Seção: Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam características granulométricas mais finas, ou seja, na faixa do silte-argiloso com pouca mica.

Este perfil, marca bem um ambiente de sedimentação onde a energia é menor, mais próximo a um ambiente de planície de inundação.

Cor predominante: Gley 2 5/5 PB

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 12,0- 13,5 METROS. (Recuperados 0,26 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 12,00 - 12,10 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar sedimentos com granulometria na faixa areia fina migrando para areia grossa. É possível observar micas na faixa de areia média.</p> <p>Cor predominante: 2,5 Y3/1</p>
	<p>Seção : 12,10 - 12,20 m</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometrias na faixa de areia fina para areia grossa à muito grossa, sendo assim podemos observar um ciclo de "fine upword", ou seja os grãos apresentam granocrescente.</p> <p>Cor predominante: 2,5 Y5/2</p>
	<p>Seção: 12,20 -12,26 m</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometrias na faixa de areia grossa à muito grossa com cascalhos finos. É possível observar feldspato potássio, apontando então a mudança da origem do sedimento. Abaixo desta última seção os sedimentos provavelmente seriam cascalhos.</p> <p>Cor predominante: 2,5 Y5/1</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 15,0-16,5 METROS. (Recuperados 0,27 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 15,00 -15,10 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam características de que seria um ambiente muito próximo a matriz de formação, por apresentar grãos de quartzos visíveis</p> <p>Os sedimentos por sua vez, apresentam areia muito grossas.</p> <p>Cor predominante: 2,5 Y 4/1</p>
	<p>Seção : 15,10 - 15,0 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar areia muito grossas, com grãos espaçados de cascalhos e quartzos.</p> <p>Cor predominante: 2,5 Y 4/1</p>
	<p>Seção: 15,20 - 15,27 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos são muito próximos aos observados anteriormente, porém na base desta seção é possível observar um contato brusco (cor ocre), onde provavelmente os sedimentos abaixo desta seção seriam cascalhos, por isso não foi totalmente recuperado.</p> <p>Cor predominante: 2,5 Y 5/2</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 16,5-18,0 METROS. (Recuperados 0,31 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 16,00 -16,10 m.</p> <p>Sedimentos: No início deste seção é possível observar que o sedimento apresenta granulometria na faixa de areia muito grossa á cascalhos finos com manchas de cor ocre, indicando presença de matéria orgânica. Também é possível observar que o material encontra-se mal selecionado.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 4/5 PB</p>
	<p>Seção : 16,10-16,20 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos continuam a apresentar as mesmas características granulométricas da seção anterior, porém aqui é possível observar a presença de grânulos de quartzo e fragmentos de rocha.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 4/5 PB</p>
	<p>Seção: Ao fim da seção,</p> <p>Sedimentos: Ao final do perfil , nesta seção a granulometria predominante é de areai muito grossa, mal selecionada, com a presença de cascalhos finos, no final da seção. Também é possível observar uma coloração ocre no final, principalmente sobre os cascalhos, indicando que o material não recuperado, pode ser cascalhos, de origem fluvial, que foram lavados, ou ficaram expostos. Cor predominante: Gley 2 4/5 PB.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 21,0-22,5 METROS. (Recuperados 1,40 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 21,10 -21,10 m.</p> <p>Regolito ou saprolito originado de uma rocha granítica</p>
	<p>Seção : 21,10 -21,20 m.</p> <p>Sedimentos: Também é possível observar a presença de uma argila branca e minerais alterados como anfibólios, granadas, micas, feldspato cálcico (dando origem a essa argila branca). Não apresentando nenhum grau de seleção.</p>
	<p>Seção: 21,20 - 21,30 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção, os sedimentos são muito iguais a seção anterior.</p>

Seção: 21,30 - 21,40 m.

Sedimentos: Nesta seção, os sedimentos são muito iguais a seção anterior.

Seção: 21,40-21,50 m.

Sedimentos: A partir desta seção até a base do perfil (22,50 metros), os sedimentos ainda apresentam totalmente alterados com as características muito próximos com as seções anteriores, porém é possível observar também uma areia muito grossa que cobre a parte externa da seção com uma coloração ocre.

Seção: 21,50-21,60 m

Sedimentos: Seção igual a anterior.

<p>Seção: 21,70 -21,80 m.</p> <p>Sedimento: Seção igual a anterior.</p>
	<p>Seção : 21,80 - 21,90 m.</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p>
	<p>Seção: 21,90 - 22,00 m</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p>

<p>Seção: 22,00 - 22,10 m.</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p>
	<p>Seção : 22,10 - 22,20 m</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p>
	<p>Seção: 22,20 - 22,30 m.</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p>

<p>Seção: 22,30 - 22,40 m.</p> <p>Sedimentos Seção igual a anterior.</p>
	<p>Seção : 22,40 - 22,50 m.</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p>
	<p>Seção: 22,50 - 22,53 m.</p> <p>Sedimentos: Seção igual a anterior.</p> <p>Este perfil, permite entender o processo de formação dos sedimentos, demonstrando claramente a origem desses sedimentos e todos os minerais associados.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 01 22,5-24,0 METROS. (Recuperado Totalmente)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 22,50 - 22,60 m.</p> <p>Neste perfil também é possível observar o Saprolito ou regolito do , porém as seções apresentam variações, que permitem entender os diferentes processos de intemperismo sofrido ao longo da formação desses sedimentos.</p>
	<p>Seção : 22,80- 22,90 m</p> <p>Sedimento: Características iguais a seção anterior.</p>
	<p>Seção: 22,90 -23,00 m.</p> <p>Sedimentos: Assim como nas seções anteriores indo até próximos aos 23,20 metros, as características do sedimento, assemelham-se a granitoides com muita biotita e feldspato potássico. Também é possível observar minerais máficos e epítodo e anfibólios, que por sua vez geram as argilas.</p>

<p>Seção: 23,00- 23,10 m</p> <p>Sedimento: Características iguais a seção anterior.</p>
	<p>Seção: 23,10 -23,20 m</p> <p>Sedimentos: Características iguais a seção anterior.</p>
	<p>Seção: 23,20 - 23,30 m</p> <p>Sedimentos: Características iguais a seção anterior.</p>

<p>Seção: 23,30 - 23,40 m</p> <p>Sedimento: Características iguais a seção anterior, permitindo identificar os sistemas de fraturas.</p> <p>Os grãos de quartzo são mais aparentes nestas próximas seções.</p>
	<p>Seção : 23,40 - 23,50 m</p> <p>Sedimentos: Características iguais a seção anterior.</p>
	<p>Seção: 23,50 - 23,60 m</p> <p>Sedimentos: Características iguais a seção anterior.</p>

Seção: 23,60 - 23,70 m

Sedimentos: A partir desta seção o material apresentam-se muito próximo ao que seria a rocha de origem, (granito), porém o quartzo é mais aparente, com granulometrias próximo a seixos, com espessura de até 4 cm.

Seção : 23,70 - 23,80 m

Sedimentos: Características próximos a seção anterior.

Seção: 23,80 - 23,90 m

Sedimentos: A partir desta seção, volta a aparecer as mesmas características do topo do perfil, onde a coloração dos sedimentos (ocre), indicam uma possível oxidação do sistema.

<p>Seção: 23,90 -24,00 m.</p> <p>Sedimentos: Características próximas a seção do topo.</p>
	<p>Seção : 24,00 -24,05 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta última seção identificamos, o final de todo o material coletado, deste perfil Madal 01. Assim, fechando o ciclo de análises e descrições visuais deste perfil.</p>

ANEXO 04

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 0,0 - 1,50 METROS. (Recuperados 1,06 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 0,00 - 0,10 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta primeira seção, podemos observar grande quantidade de matéria orgânica, e os sedimentos presentes apresentam granulometrias na faixa silte -areno-argiloso. Aqui é possível observar o início do horizonte A do Cambissolo.</p> <p>Cor predominante: 10Y R 4/5</p>
	<p>Seção: 0,10 - ,020 m.</p> <p>Sedimentos: As características texturais e granulométricas são muito próximas com as descritas na seção anterior, porém no final desta seção, que os sedimentos estão mais próximos de silte-arenoso, que tendem a aumentar seu padrão granulométrico no sentido base da seção.</p> <p>Cor predominante: 10YR 5/6</p>
	<p>Seção: 0,20 - 0,30 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos estão na faixa granulométrica de silte -arenoso, com menor quantidade de argila, assim como na seção anterior.</p> <p>Cor predominante: 10 YR 5/6</p> <p>Estas seções, permitem observar sequencias formadas por depósitos de rampas de colúvio (0,00 metros - 0,60 m).</p>

Seção: 0,30 - 0,40 m.

Sedimentos: As características desta seção são muito próximas da seção anterior.

Cor predominante: 10 YR 5/6

Seção: 0,40 m - 0,50 m.

Sedimentos: As características desta seção são muito próximas da seção anterior, porém nesta seção os sedimentos tornam-se mais arenosos, também sendo possível observar a presença de raízes.

Cor predominante: 10 YR 5/6

Seção: 0,50 m- 0,60 m

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam granulometrias de areia média, com a presença de grânulos de rocha, e cascalhos finos.

Cor predominante: 10 YR 5/6

Seção: 0,60 - 0,70 m.

Sedimentos: Nesta seção os sedimentos já apresentam areia média à cascalhos finos.

Cor predominante: 10YR 5/6

Seção: 0,70-0,80 m.

Sedimentos: Nesta seção é possível ver um contato brusco dos sedimentos, onde os sedimentos estão na faixa de areias e cascalhos. Este contato indica onde provavelmente ocorreu a mudança de uma sequencia fluvial e não mais um depósito de rampa de colúvio como indicado nas seções anteriores.

Aqui então seria uma zona de retrabalhamento.

Cor predominante: 10YR 5/6

Seção: 0,80 m - 0,90 m.

Sedimentos: Os sedimentos apresentam características próximas a areia fina a muito fina com muita mica de coloração ocre.

Os sedimentos estão muito mal selecionados.

Cor predominante: 10YR 5/2

<p>Seção: 0,90 - 1,00 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometria silte- argilo-arenoso, muito próximo ao observado no topo do perfil. Com muita mica, na faixa de areia muito fina.</p> <p>Cor predominante: 10YR 5/2</p>
	<p>Seção : 1,00 - 1,06 m.</p> <p>Sedimentos: Esta seção os sedimentos estão na faixa de areia muito fina com pouco silte, sendo possível observar um lamina de grãos de mica.</p> <p>E bem próximo aos 1,05 metros, os sedimentos engrossam para areia média a muito grossa, marcando o final da seção do perfil do Cambissolo.</p> <p>Cor predominante: Cor predominante: 10YR 5/2</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 1,50 - 3,00 METROS. (Recuperados 0,30 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 1,50 - 1,60m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção, é possível observar os sedimentos que apresentam granulometria na faixa de areia média à grossa com pouca quantidade de silte e argila. Também é possível observar alguns fragmentos vegetais.</p> <p>Cor predominante: 10 YR 4/6.</p>
	<p>Seção : 1,60 - 1,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção, houve dificuldades em abrir completamente o perfil, porém os sedimentos foram coletados normalmente. Assim a granulometria aparente é de areia muito grossa com muita presença de mica na faixa de areia média. Nesta seção, demarca também com a pedogenize não atua com intensidade. Cor predominante: 10 YR 4/6.</p>
	<p>Seção: 0,70 - 0,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção, os sedimentos estão na faixa de areia muito grossa com a presença de cascalhos finos, sendo. possível observar grãos de quartzo e feldspato. É interessante lembrar que este perfil encontram-se muito próximo ao N.A., assim justifica a não recuperação total do perfil. Provavelmente aqui marca o que poderia ser um depósito de colúvio promovido por um fluxo de detritos.</p> <p>Cor predominante 10 YR 4/4.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 3,0 - 4,5 METROS. (Recuperados 0,50 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 3,00 - 3,10 m.</p> <p>Sedimentos: No topo desta seção é possível observar que os sedimentos estão com granulometrias de areia muito grossa à cascalhos grosso, marcando um ambiente que teria sido lavado, devido a proximidade do N.A.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5 PB</p>
	<p>Seção : 3,10 - 3,20 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos apresentam características granulométricas de areia muito grossa à cascalhos finos.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5 PB</p>
	<p>Seção: 3,20 - 3,30</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos encontram-se retrabalhados, sendo que a granulometria mescla entre areia muito grossa à cascalhos finos á grossos.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5 PB</p>

<p>Seção: 3,30 - 3,40 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar sedimentos na faixa de areia grossa, que se intercalam com cascalhos finos. Também é possível identificar restos vegetais.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 5/5 PB</p>
	<p>Seção : 3,40 - 3,50m</p> <p>Sedimentos: Nesta última seção é possível identificar cascalhos médios que provavelmente vão até a base do perfil (4,5 metros), por isso não foi possível recuperar todo o perfil</p> <p>Cor predominante: Gley 2 5/5 PB</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 4,50 - 6,00 METROS. (Recuperados 0,83 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 4,50 - 4,60 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se sedimentos com granulometria na fração areia grossa á muito grossa, com a presença de mica e grãos de quartzo na fração areia grossa à muito grossa.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/5 PB</p>
	<p>Seção : 4,60 -4,70 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar os sedimentos na fração cascalho grosso a muito grosso, que aumentam as frações no sentido topo-base da seção.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 5/5 PB</p>
	<p>Seção: 4,70 - 4,80 m</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam granulometria próximas as encontradas na seção anterior, porém é possível observar maiores quantidades de minerais como quartzo e mica, e uma pequena concentração de feldspato potássico, indicando a mudança do material de origem ou uma oxidação.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 4/5 PB</p>

<p>Seção: 4,80 - 4,90 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se ainda areia muito grossa à cascalhos finos, com micas e quartzo, o que difere da seção anterior é a presença de esparsos fragmentos de rocha próximo ao topo da seção.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 5/5 PB</p>
	<p>Seção : 4,90 - 5,00 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 5/5 PB</p>
	<p>Seção: 5,00 - 5,10 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam as frações granulométricas na faixa de areia grossa à muito grossa, com presença de grãos de quartzo.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 4/5 PB</p>

<p>Seção: 5,10 - 5,20 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 4/5 PB</p>
	<p>Seção : 5,20 - 5,30 m.</p> <p>Sedimentos: Ao final desta seção observa-se que voltam aparecer cascalhos finos à médio, próximos aos que aparecem no topo do perfil, provavelmente essa sequencia granulométrica segue até o final da seção, aos 6,00 metros de profundidade.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 7,50 - 9,00 METROS. (Recuperado Totalmente.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 7,50 - 7,60 m.</p> <p>Sedimentos: Neste seção é possível observar que os sedimentos apresentam-se na fração areia muito grossa migrando para cascalhos finos, sendo assim podendo observar um contato brusco ao final da seção. Provavelmente esses sedimentos estaria próximos aos antigos canais fluviais.</p> <p>Cor predominante: Gley, 6/10 Y</p>
	<p>Seção : 7,60 -7,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção seria a zona de contato com os sedimentos que migram para areia muito grossa à cascalhos mal selecionados, com a presença de mica e alguns feldspatos.</p> <p>Cor predominante: Gley, 6/10 Y</p>
	<p>Seção: 7,70 - 7,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley, 6/10 Y</p>

<p>Seção: 7,80 - 7,90 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar que os sedimentos, migram para frações muito pequenas, como argila siltica com muita mica na fração areia muito fina.</p> <p>Provavelmente a partir daqui, a energia de depósito diminui ficando mais próxima a uma planície de inundação.</p> <p>Cor predominante: Gley, 2,5/N</p>
	<p>Seção : 7,90 - 8,00 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos estão na fração areia muito fina siltica-argilosa, com a presença de micas na fração areia fina.</p> <p>Cor predominante: Gley, 2,5/N</p>
	<p>Seção: 8,00 - 8,10 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley, 2,5/N</p>

Seção: 8,10 - 8,20 m

Sedimentos: Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior, porém com menor quantidade micas.

Cor predominante: Gley, 2,5/N

Seção : 8,20 - 8,30 m.

Sedimentos: Aqui é possível observar um contato gradacional onde os sedimentos migram para a fração silte-argilos, com menores quantidades de mica.

Cor predominante: Gley, 4 /N

Seção: 8,30 - 8,40 m.

Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.

Cor predominante: Gley, 4 /N

<p>Seção: 8,40 - 8,50 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley, 4 /N</p>
	<p>Seção : 8,50 - 8,60 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior</p> <p>Cor predominante: Gley, 4 /N</p>
	<p>Seção: 8,60 -8,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley, 4 /N</p>

<p>Seção: 8,70 - 8,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos, apresentam frações granulométricas de areia média, ou seja, frações maiores do que as seções anteriores, provavelmente a partir deste trecho estaria mais próximos ao canal fluvial.</p> <p>Cor predominante: Gley, 4 /N</p>
	<p>Seção : 8,80 -8,90</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior, porém as micas torna-se mais visíveis, entrando na fração areia média.</p> <p>Cor predominante: Gley, 4 /N</p>
	<p>Seção: 8,90 - 9,00 m.</p> <p>Sedimentos: Ao final desta seção é possível observar que os sedimentos estão na fração granulométrica de areia média siltica, com a presença de micas na fração areia média. É possível observar fragmentos vegetais.</p> <p>Cor predominante: Gley, 4 /N</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 9,00 - 10,50 METROS. (Recuperado Totalmente.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 9,00 - 9,10 m.</p> <p>Sedimentos: No início desta seção, podemos observar que os sedimentos estão na fração areia média à grossa, com presença de sílte. Também é possível observar que fragmentos vegetais.</p> <p>Cor predominante: Gley 1 - 4/2 PB</p>
	<p>Seção : 9,10 - 9,20 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos estão na fração areia muito grossa, com a presença de grânulos de quartzo e biotita.</p> <p>Cor predominante: Gley 1 - 4/2 PB</p>
	<p>Seção: 9,20 - 9,30 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 1 - 4/2 PB</p>

Seção: 9,30 - 9,40 m.

Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.

Cor predominante: Gley 1 - 4/2 PB

Seção : 9,40 - 9,50 m.

Sedimentos: Nesta seção as frações granulométricas apresentam menores do que as seções anteriores, ficando assim na fração de areia média. Aqui podemos observar um contato brusco no final da seção, provavelmente demarcando a troca de energia da sedimentação, desenvolvida pela proximidade com antigo canal, entrando em direção a planície de inundação. Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB

Seção: 9,50 - 9,60 m.

Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.

Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB

<p>Seção: 9,60 - 9,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos encontram-se na fração sílte argiloso, sendo possível observar que os sedimentos estão rachados, devido a presença de argilas expansivas.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB</p>
	<p>Seção : 9,70 - 9,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nas próximas seções , até 10,20 metros. As seções apresentam então, fração sílte argiloso, sendo possível observar que os sedimentos estão rachados devido a presença de argilas expansivas.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB</p>
	<p>Seção: 9,80 - 9,90 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB</p>

<p>Seção: 9,90 - 10,00 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB</p>
	<p>Seção: 10,00 - 10,10m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB</p>
	<p>Seção: 10,10 - 10,20 m</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB</p>

Seção: 10,20 - 10,30 m.

Sedimentos: Os sedimentos apresentam na fração silte-argiloso, com micas na fração areia muito fina.

Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB

Seção: 10,30 - 10,40 m.

Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.

Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB

Seção: 10,40 - 10,50m.

Sedimentos: Nesta seção houve dificuldades para a abertura da seção, porém foi possível coletar os sedimentos, sendo assim, este apresentaram características muito próximas as duas últimas seções, confirmando então que este sedimentos foram provavelmente depositados sobre planícies de inundação.

Cor predominante: Gley 2 - 5/5 PB

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 10,50 - 12,50 METROS. (Recuperados 1,30 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 10,56 - 10,70 m.</p> <p>Sedimentos: Houve um deslocamento ao abrir o perfil, sendo assim as métricas iniciaram-se próximos aos 10,56 metros. As características granulométricas dos sedimentos, apresentaram frações de areia média com presença de mica na fração de areia média e também é possível identificar grãos de quartzo.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 4/PB</p>
	<p>Seção : 10,70 - 10,80 m</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção encontram-se revolvidos de areia média até cascalhos pequenos, essa seção está próximo a uma zona de contato, provavelmente, devido a esse revolvimento aparente nas frações.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 4/PB</p>
	<p>Seção: 10,70 - 10,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior, porém é possível observar um contato brusco na base da seção.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 4/PB</p>

Seção: 10,90- 11,00 m.

Sedimentos: Os sedimentos nesta seção apresentam frações maiores do que as das seções anteriores, marcando então uma movimentação no ambiente de sedimentação, assim a granulometria dessa seção é de areia grossa a muito grossa, onde é possível observar bem o contato brusco.

Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB

Seção : 11,00 - 11,10 m.

Sedimentos: Os sedimentos apresentam granulometria na fração cascalho médio, com mica na fração areia média.

Nas próximas 6 seções (até 11,60 m), os sedimentos apresentam-se com as características muito próximas. O Ambiente de deposição é muito próximo as características de colúvios de baixada.

Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB

Seção: 11,10 - 11,20 m.

Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.

Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB

<p>Seção: 11,20 - 11,30 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB</p>
	<p>Seção : 11,30 - 11,40 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB</p>
	<p>Seção: 11,40 - 11,50 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB</p>

Seção: 11,50 - 11,60 m.

Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.

Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB

Seção : 11,60 - 11,70

Sedimentos: Os sedimentos na base desta seção, apresentam frações menores, areia média com matriz pelítica (silte e argilas).

Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB

Seção: 11,70 - 11,80 m.

Sedimentos: Os sedimentos na base desta seção, apresentam frações menores, areia média com matriz pelítica (silte e argilas), próximo do que foi visto na seção anterior.

Cor predominante: Gley 2 - 3/5 PB

	<p>Seção: 11,80 - 11,86</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos ao final desta seção, apresentam frações de areia grossa, mesclando com uma matriz pelítica, argila e silte, assim fechando este perfil.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 - 2,5 / 5 PB.</p>
--	---	---

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 12,00 - 13,50 METROS. (Recuperados 0,60m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 12,00 - 12,10 m.</p> <p>Sedimentos: Neste perfil, até próximos aos 12,50 metros, os sedimentos apresentam frações areia grossa com muita mica e quartzo. Nesta seção inicial é possível observar a presença de cascalhos pequenos dispersos, na base desta seção as frações ficam ligeiramente maiores (areia muito grossa). Cor predominante: Gley 2 3/10B.</p>
	<p>Seção : 12,10 - 12,20 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam características muito próximas da seção anterior, porém é possível identificar grãos de quartzo com maior evidência. Cor predominante: Gley 2 3/10B.</p>
	<p>Seção: 12,20 - 12,30 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/10B.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 13,50 - 15,00 METROS. (Recuperados 0,30 m.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 13,50 - 13,60 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível identificar sedimentos na fração areia grossa. É possível observar uma camada argilosa (4 cm), provavelmente de origem deposicional distinta. A hipótese seria que houve o deslocamento através da entrada de alta energia, que deslocou essa camada, outro fator para essa troca de energia pode ser visto através da coloração ocre existe na lateral do seção.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/10B.</p>
	<p>Seção : 13,60 - 13,70 m.</p> <p>Sedimentos: Os sedimentos nesta seção as frações são areia muito grossa à cascalhos finos.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/10B.</p>
	<p>Seção: 13,70 - 13,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: Gley 2 3/10B.</p>

FOTO TOTAL DO PERFIL	DESCRIÇÃO DO PERFIL: MADAL 02 16,50 - 18,00 METROS. (Recuperado Totalmente.)	FOTO SEÇÃO
<p>Seção: 16,50 - 16,60 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção é possível observar frações granulométricas de areia muito fina à muito grossa. Presença de micas na fração areia muito fina. Também observa-se que existe um predomínio de uma matriz argilosa que mescla com os sedimentos, esta por sua vez pode ser observada ao longo de todas as seções.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção : 16,60 - 16,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam frações granulométricas que vão de areia média à grossa, com matriz argilosa mesclando os sedimentos. É possível observar também grãos de quartzos dispersos pela seção. Estas características se repetem nos próximos 0,40 metros.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção: 16,70- 16,80 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>

<p>Seção: 16,80 - 16,90 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior. É interessante destacar que se observou intercalações dos sedimentos com matéria orgânica.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção: 16,90 - 17,00 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção: 17,00 - 17,10 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>

<p>Seção: 17,10-17,20 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção os sedimentos apresentam frações de areia grossa com muita mica na fração areia média. Os sedimentos apresentam grãos sub-arredondados com uma melhor seleção entre os grãos, se comparados as seções anteriores. O que se repete até aproximadamente 17,70 m.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção: 17,20 - 17,30 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção: 17,30 - 17,40 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>

<p>Seção: 17,40 - 17,50 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção as características são muito próximas a seção anterior</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção : 17,50 - 17,60 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção observa-se características muito próximas a seção anterior.</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>
	<p>Seção: 17,60 - 17,70 m.</p> <p>Sedimentos: Nesta seção, as frações apresentam areia muito grossa à cascalhos finos, com tendência de granocrescente no sentido topo-base. Essa granodescrescencia, refere-se a um ambiente que apresenta características de uma sequencia lacustre</p> <p>Cor predominante: 5Y 3/1</p>

Seção: 17,70 - 17,80 m.
Sedimentos: Os sedimentos nestas duas últimas seções refletem as características anteriores, porém os grãos de quartzo são um pouco maiores do que as seções anteriores.
Cor predominante: 5Y 3/1

Seção: 17,80 - 17,90 m.
Sedimentos: Nesta seção os sedimentos são muito próximos do que foi descrito na seção anterior.

É interessante destacar que provavelmente esse perfil, representa o que seria a sequencia lacustre, como descrito anteriormente, que possui vez refere-se aos movimentos de neotectônica que ajustaram os depósitos ao longo do período Quaternário.