

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

SUBSÍDIOS GEOMORFOLÓGICOS PARA A AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE  
AMBIENTAL AO ÓLEO: o caso do baixo curso do rio Tietê (SP)

Ramon Lucato de Aguilar

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

Ramon Lucato de Aguilar

SUBSÍDIOS GEOMORFOLÓGICOS PARA A AVALIAÇÃO DA  
SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO: o caso do baixo curso  
do rio Tietê (SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2015

RAMON LUCATO DE AGUILAR

**SUBSÍDIOS GEOMORFOLÓGICOS PARA A AVALIAÇÃO DA  
SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO: o caso do baixo curso  
do rio Tietê (SP)**

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio  
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel  
em Geografia.

Comissão Examinadora

\_\_\_\_\_ (orientador)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Rio Claro, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

## **Agradecimentos**

Agradeço a orientação e apoio da Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha pela paciência diante à minha falta de experiência e pela presteza no ensino e discussão do arcabouço teórico e das técnicas de mapeamento, tanto em sala de aula quanto em laboratório.

Agradeço à Prof. Dra. Paulina Setti Riedel pela orientação sobre questões relacionadas a imagens orbitais e técnicas operacionais do software ArcGis, bem como à revisão e sugestões sobre artigos escritos e sobre este trabalho.

Agradeço ao apoio da doutoranda em Geociências e Meio Ambiente, Cristina Aparecida Beneditti e do mestrando no mesmo curso, Guilherme Gallo, pela orientação sobre procedimentos de mapeamento e pelo compartilhamento de materiais embasadores à elaboração das cartas.

Agradeço, por fim, ao apoio financeiro proporcionado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com a bolsa de iniciação científica.

## **Resumo**

Este trabalho propôs-se ao mapeamento e análise das feições geomorfológicas do trecho do fundo de vale do rio Tietê entre a área urbana de Anhembi (SP) e a confluência com o Rio Piracicaba no município de Botucatu (SP). Posteriormente cada feição foi associada a um índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (SAO) para que fossem inferidas as possíveis respostas de cada feição de origem fluvial a derramamentos de hidrocarbonetos, orientando as equipes mitigadoras em relação à escolha de setores prioritários e setores preteríveis durante as ações de contenção do poluente e sua remoção. Para tanto procedeu-se à interpretação visual das feições com base em imagens orbitais obtidas pelo sistema HRG – SPOT 5 e em cartas topográficas levantadas pelo IBGE. O recorte justifica-se, pois este trecho do Rio Tietê perpassa uma das regiões mais dinâmicas e desenvolvidas do país, a qual passou, nas últimas décadas, por um intenso processo de urbanização e modernização na agricultura, sendo atravessada por rodovias, ferrovias e oleodutos; encontrando-se próxima a diversas regiões urbanas e possuindo extensas áreas de sua bacia ocupadas por agricultura mecanizada (especialmente cana-de-açúcar), sujeitando o rio a potenciais acidentes envolvendo derramamento de óleo. O maior elemento de vulnerabilidade, entretanto, advém do tráfego intenso de embarcações no próprio curso de rio sob enfoque, o qual é parte do principal sistema hidroviário brasileiro (Hidrovia Tietê – Paraná). Por fim, este trabalho procurou analisar os efeitos da elevação do nível de base regional sobre o trecho após a instalação, a jusante, da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita.

**Palavras – chave:** Geomorfologia Fluvial. Cartografia Geomorfológica. Sensibilidade Ambiental ao Óleo.

## **Abstract**

This paper proposes the mapping and analysis of geomorphological features in an stretch from the valley bottom of the Tiete river, between the urban core of Anhembi (SP) and the confluence with the Piracicaba river, Botucatu (SP). Then each feature was associated with one Environmental Oil Sensitivity Index (SAO) to be infered the possibles responses of each one on hydrocarbon spills, directing mitigation teams regarding the choice of priority sectors and postpones sectors during containment accions and the pollutant removal. For these proposes it was proceeded the visual interpretation of features based on satellite images obtained by the HRG – SPOT 5 system and on topographic maps made by IBGE. The cut is

justified, as this stretch of the Tietê river runs through one of the most dynamic and developed regions of the country, that passed, in the last decades, through an intense process of urbanization and modernization in agriculture, being crossed by roads, railways and pipelines; lying near several urban regions and having large areas of the basin occupied by mechanized agriculture (especially sugar cane), subjecting the river to potential accidents involving oil spill. The largest element of vulnerability, however, comes from the heavy boat traffic in the course of the river under focus, that is part of the main brazilian waterway (Tiete – Parana Waterway). Lastly, this study sought to examine the effects of increased regional base level on the stretch after installation, downstream, of the Barra Bonita Hydroelectric Plant.

**Key – Words:** Fluvial Geomorphology. Geomorphology mapping. Environmental Oil Sensivity.

## **Sumário**

1. INTRODUÇÃO.....	07
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3. A ÁREA DE PESQUISA.....	17
4. TÉCNICAS.....	28
4.1. Carta Geomorfológica.....	28
4.2. Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
6. REFERÊNCIAS.....	53

## 1. Introdução

O ser humano vem, desde meados do século XIX, utilizando o petróleo como fonte de energia para seus processos econômicos e, a despeito de sua contínua e acelerada busca por uma evolução tecnológica no sentido de se alcançar meios para o aproveitamento de fontes renováveis (não poluentes), os combustíveis fósseis são, nos dias atuais, aproveitados em uma escala sem precedentes.

Além de seu aproveitamento energético este recurso atua como matéria prima para a produção de derivados, tais como plásticos, resinas, asfalto e, até mesmo, fármacos. Sua utilização tanto para a confecção destes artigos industriais, quanto para a produção de energia através de combustíveis fósseis como a gasolina, óleo diesel, naftas, requer a transformação ou *refino* em grandes e sofisticadas instalações industriais, as *refinarias*.

Desde sua prospecção em bacias sedimentares mesozoicas (geralmente submersas em ambiente marinho) às instalações de refino e, posteriormente, até ao consumidor final, o petróleo e seus derivados requerem uma rede logística multimodal, sendo transportados e consumidos por rodovias, ferrovias, aerovias, dutovias e hidrovias, o que, constantemente os expõe a riscos de acidentes os quais, invariavelmente, decorrem em vazamentos. Estes eventos estão entre as principais causas de danos ambientais e às atividades antrópicas.

Por estes riscos, constantemente efetivados na forma de acidentes, a preocupação social e corporativa vem sendo acrescida por manifestações midiáticas e crescentes sanções jurídicas. Assim todos os segmentos sociais adquirem, de alguma forma, maior sensibilização quanto a esta temática, aumentando, em decorrência, a demanda por medidas preventivas e mitigadoras a estes eventos.

Desta maneira, Wieczorek (2006, p.12) expõe que:

A OPRC 90 – *Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation* – determinou que seus países signatários devem estabelecer um plano nacional de contingência, delegando ao órgão federal do meio ambiente (Ministério do Meio Ambiente – MMA, no caso brasileiro) esta responsabilidade. A base para o desenvolvimento deste plano é a Confecção de Cartas de Sensibilidade ambiental ao Óleo (SAO), que define áreas sensíveis ao derramamento de óleo.

Ocorre que no Brasil houve um satisfatório mapeamento da sensibilidade ambiental em ambientes litorâneos, enquanto as bacias interiores foram delegadas a uma importância

secundária, mesmo sendo muitas destas de especial vulnerabilidade a acidentes envolvendo petróleo e seus derivados por comportarem tráfego hidroviário de pequeno a grande porte e pela proximidade física a instalações industriais, rodovias, refinarias, oleodutos, aglomerações urbanas e campos cultivados.

A maior utilidade das cartas SAO faz-se durante o evento de derramamento, pois através da posse de tais documentos obtém-se uma maior eficiência na alocação dos recursos de mitigação ao acidente, sendo estes direcionados às áreas de maior sensibilidade preestabelecidas na carta. A limpeza destas áreas torna-se mais eficiente e os impactos ambientais e socioeconômicos podem ser rapidamente avaliados, uma vez que no banco de dados estão catalogados os recursos naturais e antrópicos da região afetada.

O levantamento e análise da morfologia do relevo é de fundamental importância para a confecção de cartas de sensibilidade, uma vez que o acesso e permanência no meio, do material derramado, dependem da energia cinética da água, elemento transportador do poluente, que, por sua vez, está em função de elementos físicos do terreno, tais como declividade, natureza do substrato e exposição ao hidrodinamismo.

Considera-se que o mapeamento geomorfológico seja um pré-requisito à elaboração de cartas SAO voltadas para ambientes fluviais, uma vez que o comportamento do óleo no ambiente depende fundamentalmente dos elementos físicos do meio. Este elemento, contudo, é apenas uma primeira etapa e deve, obrigatoriamente, ser complementada com informações acerca dos elementos bióticos presentes na área, pois apenas assim, com o estudo da conjugação entre meio físico e seu aproveitamento pela biota, pode-se elaborar uma interpretação sistematizada sobre a sensibilidade do ambiente.

Enfatiza-se, contudo, que o levantamento destes elementos não fisiográficos e a análise de suas influências sobre os índices de sensibilidade não foram contemplados por esta pesquisa, a qual subsidiará outra através dos atributos geomorfológicos mapeados, no âmbito de um grande projeto, devendo a complementação de ambas conformar uma classificação detalhada dos índices de sensibilidade ao derrame de óleo para a região.

Foi, porém, realizada uma avaliação parcial da sensibilidade, tendo-se como parâmetro apenas os atributos geomorfológicos, aqui apresentada e discutida.

Conforme o exposto, o principal objetivo desta pesquisa foi colaborar com a avaliação da sensibilidade da dinâmica fluvial ao derrame de óleo. Assim, através da

identificação e mapeamento das feições geomorfológicas de origem fluvial buscou-se concluir sobre o significado destas em termos de sensibilidade ao derrame de óleo.

Como objetivos específicos podem ser citados:

1. Análise de uma vasta bibliografia sobre os temas Geomorfologia, Geomorfologia Fluvial, Hidrocarbonetos e Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo;
2. Treinamento em técnicas de mapeamento digital de feições geomorfológicas e de sensibilidade ambiental;
3. Reconhecimento das feições do relevo através da elaboração de uma carta geomorfológica a qual será utilizada como subsídio para a determinação da sensibilidade das feições ao derramamento de óleo, proporcionando uma importante ferramenta para a construção de cartas de sensibilidade ambiental, a qual é um instrumento para que órgãos competentes mobilizem-se rápida e eficazmente na mitigação dos impactos, atenuando-os.

Após análise da bibliografia pertinente ao mapeamento geomorfológico e ao mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, as feições do relevo foram mapeadas e, através da carta geomorfológica resultante, foi elaborada uma carta SAO a partir da interpretação e associação de cada feição geomorfológica a um índice de sensibilidade ambiental, tendo-se como base, para ambos os mapas, imagens orbitais HRG – SPOT 5 (datadas entre 2007 e 2009). Para cada feição considerada foi associada uma cor, conforme a orientação das propostas de Hayes, Michel e Montello (1997) e Hayes (2001), atribuída através do recurso digital *ArcGis*. Estas foram organizadas em layers e cartografadas sobre a imagem e a carta geomorfológica, utilizando-se a referida ferramenta de geoprocessamento.

As cartas geomorfológica e SAO completas encontram-se nos CD Rooms enviados juntamente com o trabalho.

Desta forma, espera-se que o presente trabalho contribua para o levantamento de informações referentes à sensibilidade ambiental das feições morfológicas presentes na área de estudo, que, como já exposto, serão complementadas em pesquisas paralelas de levantamento e interpretação de dados sobre a biota, solos e recursos socioeconômicos existentes neste segmento da bacia do rio Tietê, envolvendo graduandos, pós-graduandos e professores dos departamentos de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Geografia,

Geologia Aplicada e Ecologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas e Instituto de Biociências da UNESP, campus Rio Claro.

## 2. Revisão Bibliográfica

A construção desta pesquisa foi fundamentada no levantamento e estudo de uma heterogênea variedade de publicações a respeito do petróleo, o refino desta matéria-prima e seus procedimentos de estocagem e transporte. Teses e artigos sobre acidentes relevantes envolvendo derramamentos de óleo bruto em ambientes costeiros, estuarinos e fluviais, bem como trabalhos, nacionais e internacionais, envolvendo mapeamentos de sensibilidade ao óleo nestes ambientes foram consultados e constituíram o embasamento para a produção cartográfica e confecção da carta geomorfológica voltada para a identificação da sensibilidade para o trecho pesquisado.

Duas obras foram enfatizadas por serem clássicas na literatura científica brasileira acerca do assunto e chaves para a elaboração desta pesquisa, sendo indispensáveis ao mapeamento e levantamento do índice de sensibilidade dos diversos ambientes. São elas: “Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e estuarinos” (Araújo et al, 2002) e “Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo” do Ministério do Meio Ambiente (2002).

No que se refere à bibliografia internacional a respeito da sensibilidade em ambientes fluviais foram analisados os trabalhos de Hayes, Michel e Montello (1997) e Zengel et al (2001).

A metodologia mais utilizada para a elaboração de mapas de sensibilidade refere-se aquela proposta pelo NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (órgão estadunidense responsável pela elaboração de mapas de sensibilidade), a qual é internacionalmente utilizada para a elaboração deste tipo de mapeamento.

Este sistema de classificação utiliza-se de uma escala de 1 a 10,

(...) sendo o índice tanto maior quanto maior o grau de sensibilidade, e tem por base o conhecimento das características geomorfológicas da costa, fundamentais para a determinação do tempo de permanência e grau de impacto do óleo derramado. Além disso, a geomorfologia é um fator que exerce influência direta sobre o tipo e a densidade das comunidades biológicas. (ARAUJO et al, 2002, p. 04).

Pontua-se, portanto, a necessidade de adaptação desta metodologia para ambientes fluviais. Contudo, em linhas gerais, Araújo (2006, p. 39) aponta a seguinte classificação preliminar:

Índice	Feição
1	Estruturas artificiais
2	Laje ou afloramento rochoso
3	Corredeira/ cachoeira
4	Escarpa/ Barranco
5	Praia ou banco de areia/ seixo exposta
6	Praia ou banco de areia/ seixo abrigada
7	Praia ou banco de lama exposto
8	Praia ou banco de lama abrigado
9	Zona de confluência de rios e lagos
10a	Banco de macrófitas aquáticas
10b	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo etc.)

**Quadro 1: Índice de Sensibilidade Fluvial proposta a cada feição.**

**Fonte:** ARAÚJO (2006, p. 39).

Nas cartas de sensibilidade, além dos aspectos geomorfológicos, são também informados os recursos biológicos e socioeconômicos presentes na região, uma vez que a ciência da complexidade dos ecossistemas envolvidos é um elemento de grande importância e este conhecimento pode ser continuamente incorporado à matriz de dados conforme mais informações venham a ser adquiridas e aprofundadas. Informações referentes à existência de pontos de acesso ao sistema de drenagem e pontos de coleta do material poluente pelas equipes mitigadoras devem constar como dados fundamentais, uma vez que a carta destina-se não apenas a localizar e quantificar pontos e áreas mais ou menos sensíveis, contudo a orientar os responsáveis na busca de maior rapidez e acessibilidade ao sistema degradado.

Nas palavras de Araujo et al (2002, p.04),

(...) esse aspecto não transparece de imediato na representação cartográfica da sensibilidade, fato que induz frequentemente à crítica como sendo um método demasiadamente simplista. Mas, é na simplicidade e clareza de representação da hierarquia da sensibilidade ambiental que reside a chave

para a elaboração de uma estratégia de como agir rapidamente em caso de um derrame de óleo.

“Os mapas auxiliam no direcionamento dos recursos disponíveis de resposta a um derrame de óleo para áreas onde a atuação dessa resposta venha a ser a mais eficaz dentro dos condicionamentos presentes.” (ARAÚJO et al, 2002, p. 02). São, desta forma, pela simplicidade e facilidade de compreensão, muito úteis como subsídio a tomadas de decisões sobre prioridades de proteção e estratégias de remoção do óleo.

Para Hayes, Michel e Montello (1997) a sensibilidade ambiental a derrames de óleo de cursos fluviais está fundamentada em dois critérios:

1. O grau de dificuldade para o alcance e permanência do material poluente no meio (vulnerabilidade ambiental) e as possibilidades de acesso ao local e remoção do poluente pela equipe responsável;
2. A sensibilidade das áreas marginais.

O primeiro critério inclui:

- a) A navegabilidade do rio e a ocorrência de pontos de apoio para a efetivação da limpeza local. Tanto mais sensível a área considerada quanto menores as possibilidades de serem alcançadas pelas equipes de mitigação;
- b) O padrão de drenagem do canal. Rios que cortam soleiras rochosas apresentam fluxo mais turbulento, o qual favorece a dispersão do óleo na coluna d'água, dificultando sua remoção. Padrões com menor energia cinética possibilitam a concentração do óleo superficialmente nos setores de fluxo acelerado, enquanto canais meandrantares favorecem a interceptação do óleo junto às margens côncavas;
- c) As dimensões do canal. Pequenos fluxos de drenagem possibilitam a seleção de materiais e métodos menos dispendiosos para a contenção da dispersão e remoção do óleo. Pequenas barragens, filtros e raias podem ser rapidamente construídas ou colocadas utilizando-se, até mesmo, materiais naturalmente disponibilizados no local. Em grandes corpos hídricos fazem-se necessários, todavia, materiais e métodos mais caros e sofisticados;
- d) Ocorrência de locais adequados para a coleta. O mapa de sensibilidade deve possibilitar a localização de pontos de concentração e coleta do material.

São locais ideais bancos e margens de cascalho e areia, revestimentos marginais artificiais e rampas para pequenas embarcações, sempre em localizações onde a energia cinética do rio esteja sensivelmente atenuada, favorecendo a concentração do óleo e sua remoção.

- e) Zonas de bifurcações e espraiamento do fluxo. Em áreas em que a água facilmente escapa de um confinamento linear, espraiando-se por diversas ramificações onde as margens não sejam bem definidas e não possam ser utilizadas como ponto de apoio para a coleta, a sensibilidade ambiental tende a aumentar dadas as maiores possibilidades de permanência e miscigenação do poluente no meio e os maiores empecilhos para sua remoção;
- f) Tempo de permanência. Quanto mais propícia morfologicamente é a feição à longa permanência do óleo, maior sua sensibilidade, pois os malefícios da contaminação aumentam na proporção direta do tempo em que o material acomoda-se ao meio.

O segundo critério para a consideração da sensibilidade ambiental ao óleo é a localização e abundância de planícies fluviais e o potencial do óleo abandonar o fluxo principal e acomodar-se nestas áreas.

Deve-se então, segundo os autores (op. cit.), diferenciar a *vulnerabilidade ambiental* de *sensibilidade ambiental*. Aquela é apreendida apenas através das características morfológicas da feição ou associação de feições consideradas, isto é, segundo as possibilidades, dada a disposição do local em relação ao fluxo de água, destas estarem expostas à contaminação pelo óleo. A sensibilidade assume uma concepção mais ampla ao ter em consideração as possíveis respostas destas mesmas feições, devendo-se assumir suas características sedimentológicas, geológicas e, especialmente, sua apropriação pela biota, tendo-se em mente o comportamento da comunidade ali habitante diante de poluentes. Taludes marginais desnudos, por exemplo, podem ser bastante vulneráveis ao óleo, uma vez que estão, em geral, em contado direto com o fluxo de maior energia do canal, transportador do poluente. O óleo tende, assim, a depositar-se junto à margem. A facilidade de concentração e remoção do material e uma biodiversidade sensivelmente mais discreta nestes segmentos, não obstante, tornam-nos, a despeito de vulneráveis, pouco sensíveis se comparados a, por exemplo, margens deposicionais associadas a extensos depósitos aluviais e pântanos. Neste

caso o talude atuaria como área de sacrifício, ou seja, abrigaria o óleo removido de outros setores para sua posterior remoção.

Assim, são três as utilidades práticas dos mapas de sensibilidade, segundo Araujo et al (2002):

1. *Planos de contingência*: planejamento de prioridades de proteção e de seleção de áreas de sacrifício, estratégias de limpeza e quantificação dos recursos necessários à mitigação dos impactos;
2. *Operações de combate a derrames de óleo*: identificação dos locais sensíveis, rotas e elementos naturais e antropogênicos presentes na área (inclusive localização de equipamentos de resposta);
3. *Planejamento ambiental*: avaliação de recursos sensíveis e estudo de impactos ambientais.

Deve-se destacar que os primeiros mapas de sensibilidade ambiental levaram em consideração basicamente os aspectos geomorfológicos, com objetivo de especificar os compartimentos mais suscetíveis à permanência do óleo em um segmento costeiro, na ausência de mobilização pela limpeza. Esse índice foi aperfeiçoado por Gundlach e Hayes (1978), a partir do reconhecimento de que as características biológicas são frequentemente relacionadas aos aspectos geomorfológicos (ARAUJO et al, 2002).

Segundo Mosley (1987 apud Hayes, Michel e Montello, 1997) já existe uma vasta bibliografia que demonstra a íntima relação entre a biota e as características físicas dos canais. Esta combinação entre os elementos biológicos e físicos tem contribuído para uma melhor compreensão sobre certas espécies, tais como insetos associados a ambientes fluviais, peixes e alguns anfíbios. Esta relação, variável ao decorrer da extensão longitudinal do canal (biozonas longitudinais) é fortemente considerada para a delimitação dos segmentos de canais, cujo reconhecimento é fundamental para a classificação da sensibilidade em bacias e trechos de bacias de pequena envergadura, como se explanará adiante.

A cartografia geomorfológica, portanto, funciona como subsídio para que se conheça o tipo de terreno, fator de fundamental importância à acomodação do óleo e à trafegabilidade das equipes de resposta. O terreno, por sua vez, forma o arcabouço básico definidor das comunidades bióticas existentes no local.

Além das características geomorfológicas, a permeabilidade de um substrato está diretamente relacionada à infiltração potencial e, deste modo, à permanência do petróleo. O

diâmetro dos sedimentos, sua esfericidade e seu grau de seleção são diretamente proporcionais à capacidade de infiltração do óleo.

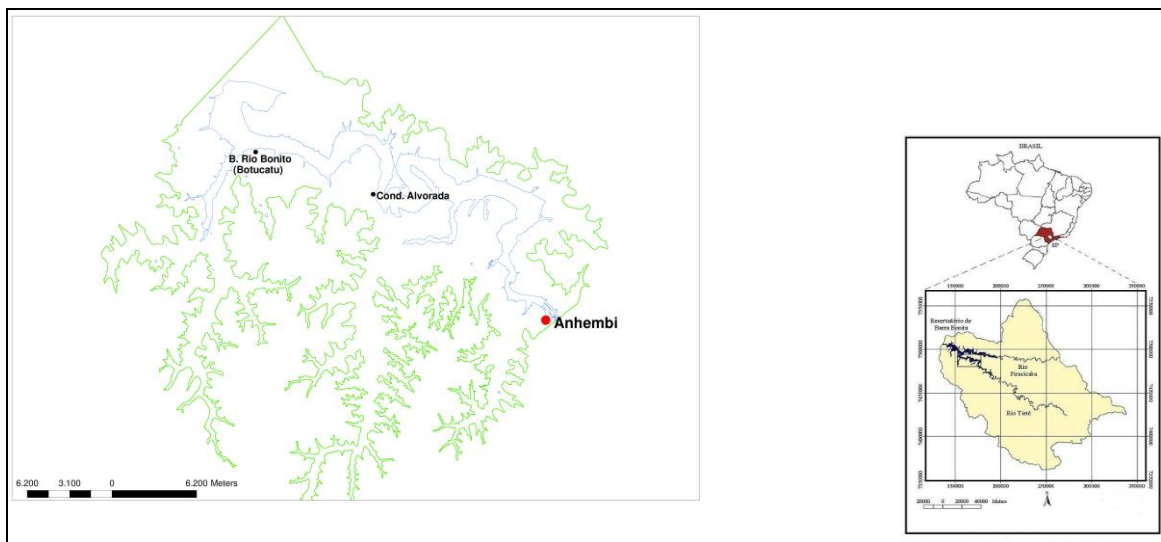
Sedimentos de menor granulação dificultam a infiltração, tornando a região menos sensível. Assim, sedimentos lamosos, pela granulação submilimétrica e pela saturação em água quase impossibilitam a penetração por hidrocarbonetos (ARAUJO, SILVA e MUEHE, 2006).

A trafegabilidade é também afetada pelo tipo de substrato no sentido de que sedimentos mais finos e mal selecionados são mais compactos, possibilitando o tráfego de equipamentos, enquanto em substratos lamosos a consistência impossibilita o uso de equipamentos de limpeza e proteção. Já em substratos vegetados, tais como em plantações e mananciais, os equipamentos de limpeza não devem ser utilizados. (ARAUJO et al, 2002).

Fica, pelo exposto, evidente que o caráter sistêmico do mapeamento da sensibilidade ambiental aos derrames de petróleo e seus derivados envolve conhecimentos integrados de geomorfologia, dinâmica fluvial, sedimentologia, fatores biológicos e fatores socioeconômicos, contemplando esta pesquisa os dois primeiros campos, uma vez que não possui a ambição de abarcar todos os fatores do mapeamento, já que se encontra inserida em um projeto de âmbito mais complexo, abrangente e multidisciplinar, o qual, este sim, possui a finalidade de uma completa análise ambiental e socioeconômica da região a fim de caracterizá-la quanto a sua sensibilidade.

### 3. A Área de Pesquisa

O trecho pesquisado compreende uma extensão de 53 quilômetros (medidos no percurso central do canal) da bacia hidrográfica do rio Tietê localiza-se no setor central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas de 22°37'49" e 22°46'58" de latitude sul e 48°07'26" e 48°20'45" de longitude oeste, inserindo-se entre os municípios de Botucatu e Anhembi, conforme a Figura 1 a seguir:



**Fig. 01:** Localização da área de estudo.

**Fonte:** Soc. Nat. (online), vol. 19, n. 2, dez. 2007; AGUILAR, R. L. (2013).

Descrever-se-á, a seguir, uma caracterização dos elementos fisiográficos regionais, levando-se em consideração a geologia, a geomorfologia, os solos e o clima espacializados no trecho da bacia estudada.

A área em consideração, bem como a maior parte do Estado de São Paulo, encontra-se acomodada na grande estrutura geotectônica da *Bacia do Paraná*. Esta unidade foi estabelecida sobre a plataforma sul-americana a partir do Devoniano Inferior ou mesmo a partir do Siluriano. Um período prolongado de subsidências intermitentes, estendido até o final do Mesozoico, possibilitou o acúmulo de sedimentos, em alternância a ejeções com menor expressão relativa de lavas basálticas e sills de diabásio, levando a atual conformação em bacia da estrutura, com espessura que chega a cinco mil metros às adjacências da calha do rio Paraná, no extremo oeste do estado (ALMEIDA, 1974)

Devido à inclinação homoclinal das camadas paleozoicas e mesozoicas e à maior resistência à erosão oferecida pelas camadas efusivas e sills, escavou-se, com a reativação tectono-magmática da plataforma no início do terciário, uma extensa depressão em arco,

sendo esta delimitada a norte e oeste pela saliência topográfica originada a partir da maior resistência das citadas formações (*front cuestasiforme*) e a sul e leste pelos terrenos cristalinos que consistem no afloramento basal da plataforma sul-americana (ALMEIDA, 1974; IPT, 1981a).

Nesta depressão, conhecida por *Depressão Periférica Paulista*, afloram as camadas paleozoicas e mesozoicas subjacentes aos derrames básicos, substratos da área contemplada por esta pesquisa (ALMEIDA, 1974).

Assim, o trecho analisado repousa sobre duas formações litológicas: Teresina e Piramboia. A primeira, pertence ao Grupo Passa Dois e tem sua gênese remontando a fase terminal da Era Paleozoica, Permiano Superior, com idade em cerca de 235 Ma. Sua litologia é caracterizada por depósitos possivelmente marinhos e compreende folhelhos e argilitos de coloração escurecida, acinzentados, arroxeados ou avermelhados, em finas lâminas alternando siltitos cinza-claros e arenitos. Restritamente há ocorrência de calcários oolíticos e sílex, conformando áreas de maior resistência litológica (IPT, 1981b).

A segunda formação, de abrangência mais extensiva na região, pertence ao Grupo São Bento, de origem mais recente, remontando ao início da Era Mesozoica (200 – 230 Ma). Sua litologia responde por depósitos aluviais, compreendendo arenitos finos a médios, avermelhados, arenitos siltico-argilosos com presença de estratificação cruzada ou plano-paralela. Ocorrem algumas intercalações de natureza areno-conglomerática, levando, nestas, a maior resistência litológica (IPT, 1981).

Segundo Almeida (1974) os argilitos paleozoicos e os arenitos triássicos, dentre os quais se incluem os da Formação Teresina (no primeiro caso) e a Formação Piramboia (no segundo), apresentam uma suave declividade que varia de 20m/km para a primeira e a 3m/km para a segunda, em direção noroeste, possibilitando que as litologias mais resistentes à erosão (ocorrência de calcários, sílex e conglomerados) mostrem-se salientes na superfície topográfica, constituindo pequenas cuestas locais.

É fundamental destacar a presença de estruturas tectônicas derivadas da reativação mesozoica. Desta forma, à medida que se percorrem os tributários de primeira, segunda e terceira ordens do rio Tietê, constata-se a presença de falhas normais e diques básicos de expressão subregional. Segundo aferimento no mapa geológico publicado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), um dique de notável expressão ocorre seis quilômetros a sudoeste de Anhembi e apresenta extensão aproximada de 11500 metros em uma orientação de 60° NW. Esta estrutura atua como limite setentrional do edifício dômico de Anhembi-

Piapara, limitado em seu oposto por uma falha distante pouco mais de cinco quilômetros a sudoeste do dique e extensa em, aproximadamente, 7500 metros, com orientação de 38° NW.

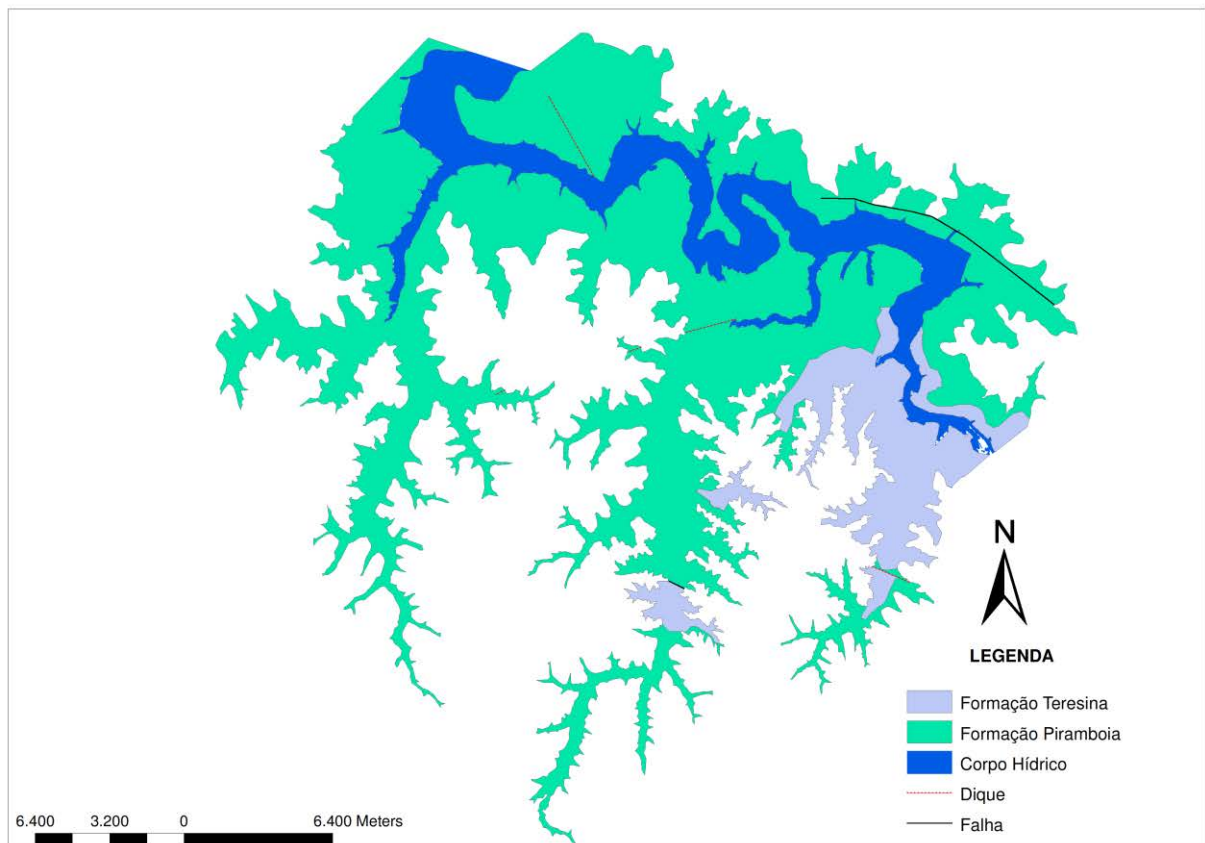
É possível observar, também, cerca de onze quilômetros a noroeste de Anhembi e dezesseis a sudeste da confluência entre os rios Piracicaba e Tietê, com início 1500 metros a sul deste, um alinhamento de pequenos diques, extenso em onze quilômetros, com orientação 75° NE. Um último dique, extenso em 3500 metros e orientado a 26° NW, localiza-se a apenas 2750 metros a sul da confluência, na margem direita do rio Tietê.

A feição tectônica com mais nítida repercussão morfológica é, todavia, uma extensa falha em arco, posicionada imediatamente a norte do Tietê, iniciando sete quilômetros a nordeste de Anhembi e findando quatorze quilômetros a sudeste da confluência, comprida em doze quilômetros e direcionada, a partir de seu extremo sudeste a 55° NW e terminando, em seu extremo noroeste, voltada a 81° NW. Esta falha é responsável por uma abrupta flexão para noroeste no curso do Tietê.

Os elementos tectônicos descritos são importantes na execução do mapeamento geomorfológico, pois respondem com repentinas e, em geral, não identificáveis (pelas imagens orbitais) variações no gradiente vertical e na energia cinética dos cursos fluviais. Deste modo calhas que expõem baixa energia e considerável planície deposicional, detectável nesta escala de mapeamento, repentinamente passam a apresentar elevação do gradiente e aumentam o entalhe em detrimento da aluviação. Isto é bastante evidente ao norte do Tietê, onde a falha descrita promove um alçamento de depósitos aluviais (decorrente da elevação local do nível de base), os quais se apartam do rio principal por um trecho de maior gradiente dos tributários.

Como última consideração constata-se, pela análise do mapa geológico (IPT, 1981a), que o alçamento do Domo de Anhembi-Piapara, levou ao soerguimento de uma litologia mais suscetível à denudação - Formação Piramboia – a qual está sendo erodida, expondo a Formação Teresina subjacente. Em complemento a este processo, a falha limitante a sudoeste faz com que o domo situe-se no bloco rebaixado, deixando sua superfície, caracterizada pela Formação Piramboia, em desconformidade com a Formação Teresina, exposta, no bloco elevado. Desta forma a evolução do relevo local pode levar a um rebaixamento topográfico do domo, expondo a litologia da formação Teresina.

Apresenta-se abaixo um esboço geológico da região pesquisada contemplando alguns de seus aspectos como a litologia, bem como perturbações tectônicas tais quais falhas e diques (Fig. 01).



**Fig. 02:** Esboço Geológico da área de estudo.

**Fonte:** IPT, 1981 b.

Com relação ao relevo, a área pesquisada situa-se no compartimento geomorfológico da *Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do rio Paraná* ou, simplesmente, *Depressão Periférica Paulista*. Esta pode ser definida como uma faixa deprimida, situada entre as porções mais elevadas da Bacia do Paraná, sustentadas por efusões básicas e sills diabásicos a norte e oeste (correspondente aos *Planaltos e Chapadas da Bacia do rio Paraná* ou *Planalto Ocidental Paulista*) e as porções elevadas cristalinas pré-cambrianas a sul e leste (corresponde aos *Planaltos e Serras do Atlântico Leste - Sudeste* ou *Planalto Atlântico*).

Sua origem, segundo Ab'Saber (1969g, p. 01 apud IPT, 1981, p. 57) “é predominantemente denudacional (...)”, isto é, um segmento da Bacia do Paraná, confinado entre os terrenos magmáticos acima referidos, foi mais rapidamente erodido e deprimido em relação a estes, desenvolvendo um arco periférico ao planalto intrabacia que se manteve topograficamente ressaltado.

Está a Depressão Periférica dividida em três zonas, localizando-se este trecho na principal dentre estas, a *Zona do Médio Tietê*, especificamente no interior do boqueirão (*percée*) aberto por este rio através de sua superimposição aos derrames basálticos.

A *Zona do Médio Tietê* é definida como a área da Depressão Periférica drenada para o rio Tietê e limitada pelos divisores de água entre a bacia deste curso fluvial e as bacias dos rios Moji-Guaçu ao norte e Paranapanema ao sul (ALMEIDA, 1964, apud IPT, 1981).

Segundo Almeida (1974, p. 72) o rio Tietê desempenha o principal canal de escoamento consequente nesta zona, orientando uma rede de drenagem de traçado pinulado.

(...) os rios tornam-se paralelos aos traços das superfícies estruturais com a topográfica. Aquelas mergulham de poucos graus para NW, enquanto que esta se inclina a um e outro lado para o eixo do coletor mestre. As camadas mais resistentes afloram em trechos subretilíneos formando ângulo no rio principal, tanto maior quanto o for a inclinação dos estratos.

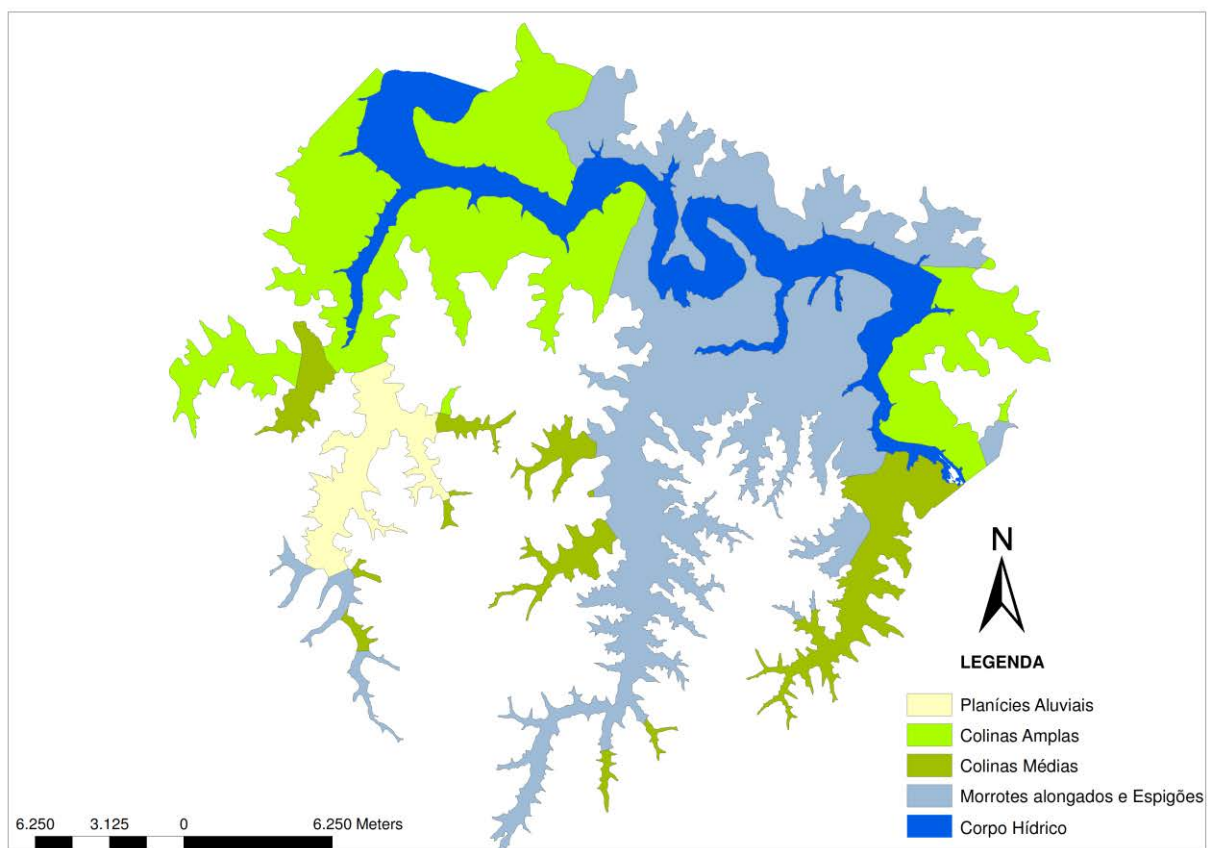
Como consequência ocorre forte concentração da drenagem diante do boqueirão do rio consequente principal. Assim, considerando-se um poder erosivo do rio Tietê superior ao dos demais rios consequentes primitivos (ao soerguimento pós-cretácico), estes não conseguem superimpor-se às litologias mais resistentes e são desviados, através da drenagem subsequente, ao consequente principal. É necessário, também, um reduzido ângulo entre os mergulhos das camadas e a superfície topográfica, possibilitando a existência dos grandes entalhes afunilados que caracterizam os boqueirões.

As formas de relevo presentes no trecho estudado inserem-se nos grupos definidos pelo IPT (1981) como *Relevos de Agradação* e *Relevos de Degradação, em Planaltos Dissecados*. No primeiro grupo incluem-se os depósitos aluviais, adjacentes ao rio Tietê e ao baixo curso de seus tributários. No segundo grupo incluem-se:

1. vastos trechos de *Colinas Amplas*, definidas por interflúvios com área superior a 4 km<sup>2</sup>, topos extensos e aplainados e vertentes com perfis retilíneos a convexos. A drenagem é caracterizada por um padrão de baixa densidade, subdendrítica, com vales abertos e restritas áreas de deposição aluvial interiores, com eventual presença de lagoas perenes ou intermitentes;
2. o primeiro setor é entrecortado por uma importante faixa de *Morrotes Alongados e Espigões*, definidos por interflúvios sem orientação bem marcada, topos achatados a angulosos e vertentes ravinadas com perfis preferencialmente retilíneos. A drenagem apresenta maior densidade, com padrão dentrítico e vales mais agudos. Este setor está especialmente associado às áreas falhadas e fendidas por diques de diabásio;

3. mais ao sul, já nas cercanias das escarpas meridionais limítrofes do boqueirão, as Colinas Amplas movimentam-se e gradualmente convertem-se a *Colinas Médias*. Estas diferem das primeiras por apresentarem interflúvios com superfície entre 1 a 4 km<sup>2</sup>, drenagem de baixa a média densidade, padrão subretangular com vales oscilando de mais abertos a mais entalhados (IPT, 1981).

Apresenta-se, na sequência, um esboço com as formas de relevo observadas e sua distribuição pela área contemplada por este estudo.



**Fig. 03.** Esboço das Formas do Relevo da área de estudo.

**Fonte:** IPT, 1981 b.

A partir de uma litologia predominantemente argilosa a arenosa e tendo em vista uma superfície suficientemente bem drenada e pouco movimentada, criaram-se as condições para o desenvolvimento de solos profundos e de caráter oxidativo. Estes se distribuem em duas classes de primeira ordem:

*Argissolos*: encontrando-se nos arredores da área urbana de Anhembi, a montante no trecho mapeado e cobrindo praticamente toda a margem direita do rio Tietê a partir do instante em que este flexiona para oeste, sete quilômetros a jusante desta cidade, até quase a confluência com o rio Piracicaba;

*Latossolos*: cobrindo as superfícies restantes, distribuindo-se pela margem esquerda, desde três quilômetros a montante da flexão a oeste até a confluência. Na margem direita, sua extensão vai de 4250 metros a jusante da ponte da Rodovia SP-147 até a flexão e expressa-se, também, em pequena área nos arredores da confluência com o Piracicaba.

A seguir será realizada uma sumária caracterização de cada uma destas naturezas de solos, segundo classificação da Embrapa (2006).

Os *Argissolos* compreendem aqueles com material mineral, no entanto com características diferenciais como presença de horizonte B textural (Bt) com baixa atividade de argilas ou, em caso destas possuírem alta atividade, devem ser acompanhadas por baixa saturação em bases (caráter alítico). O horizonte Bt deve situar-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, despossuindo, o solo, horizonte eluvial típico (E). Grande parte dos *Argissolos* apresenta evidente incremento no teor de argilas do horizonte superficial para o Bt, demonstrando um abrupto e facilmente identificável limite entre estes.

Sua profundidade, drenagem e coloração são variáveis, mostrando, contudo maior frequência para tonalidades avermelhadas a amareladas. A textura varia de argilosa a arenosa no horizonte A (com aumento de granulometria inversamente proporcional à profundidade) e de medianamente argilosa a muito argilosa no horizonte Bt. São ácidos e de variável saturação por bases.

Nesta área ocorre somente a subordem de *Argissolos* Vermelho-Amarelos, definidos por apresentarem matiz entre 5 e 7,5 YR na maior parte do metro mais superficial do horizonte diagnóstico (Bt) (IAC, 1999)

Os *Latossolos* compreendem aqueles compostos por material mineral e horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer horizonte superficial, não apresentando, de modo análogo aos *Argissolos*, horizonte eluvial típico (E).

São solos bastante intemperizados e evoluídos, destituídos de minerais primários e secundários menos resistentes e possuem baixa capacidade de troca catiônica. São comumente bem ou fortemente drenados, sendo de rara ocorrência solos de drenagem imperfeita e cores mais pálidas.

Esta classe apresenta solos bastante profundos, com espessura do solum raramente inferior a um metro. A gradação entre horizontes é bastante difusa e frequentemente percebida

pela coloração mais escurecida do horizonte A (presença de matéria orgânica) e bastante viva, de avermelhada a amarelada (matizes entre 2,5 YR e 10 YR) no horizonte B, em função do processo geoquímico de oxidação derivado da boa drenagem do perfil. O horizonte C, saprolítico, definido pela presença de fragmentos litólicos quimicamente não ou pouco alterados, possui coloração menos intensa, porém mais heterogênea (IAC, 1999)

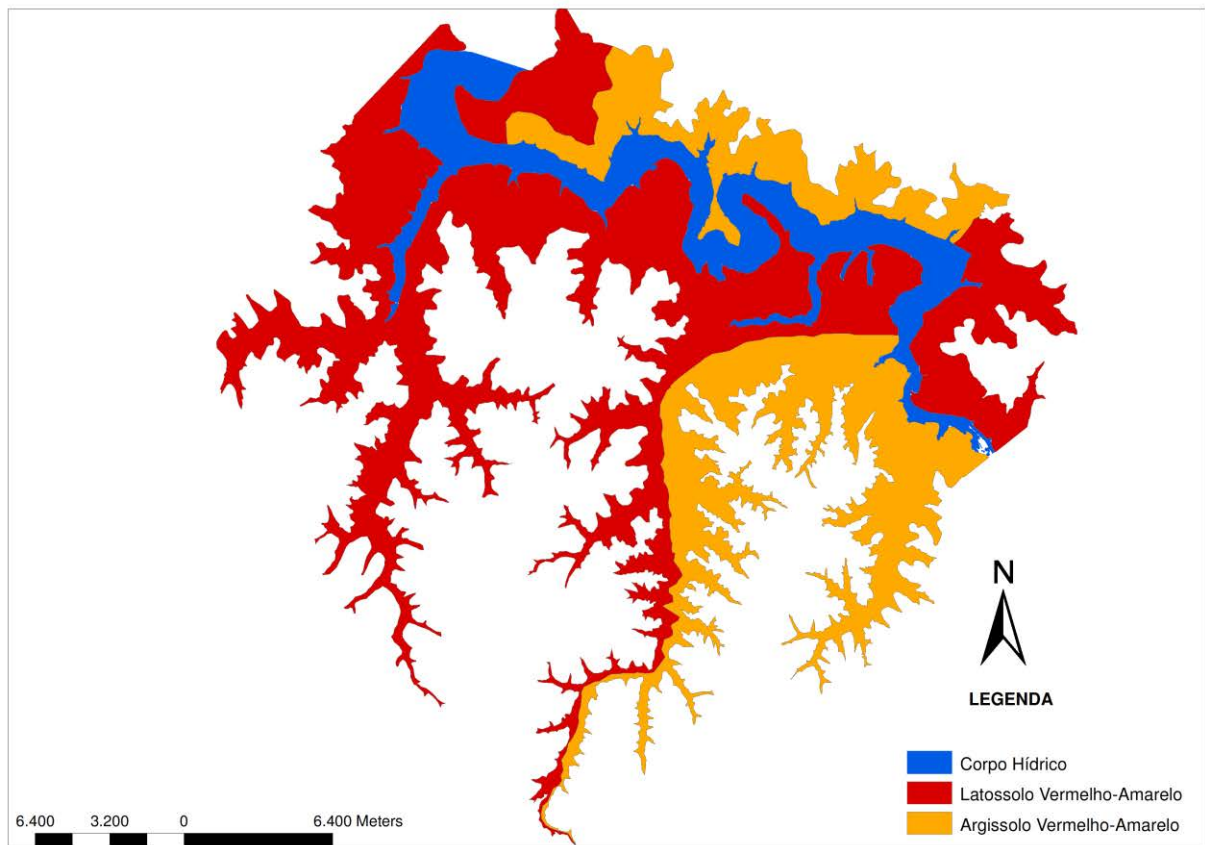
Nestes solos não ocorre evidente migração de argilas do horizonte superficial para o latossólico, não sendo a razão textural de argilas A/B suficiente para classificar este último como textural. São, em geral, fortemente ácidos e com baixa saturação por bases (exceção às lateritas, encontradas em regiões com estação seca pronunciada).

Os Latossolos são típicos de regiões intertropicais, distribuindo-se, especialmente por superfícies topograficamente aplainadas ou suavemente onduladas, como antigas superfícies de erosão, pedimentos e terraços fluviais antigos. Originam-se a partir dos mais diversos tipos litológicos e nas mais variadas tipologias climáticas.

Na área são encontradas apenas variações da subordem *Latossolos Vermelho-Amarelos*, caracterizados, por exporem matizes no horizonte B de 2,5 a 7,5 YR na maior parte do metro superficial (IAC, 1999)

Pela análise do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (IAC, 1999) constata-se que a cobertura latossólica coincide com uma superfície menos movimentada, possibilitando melhor drenagem do perfil e mais propícias condições de oxidação. A cobertura argissólica, ao decorrer de considerável extensão à margem setentrional do rio Tietê, coincide com a localização de uma importante falha que marca certa movimentação topográfica.

Esboçou-se uma representação espacial da diferenciação do substrato pedológico em duas coberturas, o qual é apresentado a seguir (Fig. 03):



**Fig. 04:** Esboço Pedológico da área de estudo.

**Fonte:** EMBRAPA; IAC, 1999.

A gênese destes tipos pedológicos, no entanto, somente poderia efetivar-se sob condições climáticas propícias, caracterizadas por precipitações abundantes e médias térmicas elevadas.

O Estado de São Paulo, ao posicionar-se em posição intermediária da América do Sul e pela combinações gerais de fatores geográficos, responde à atuação de diversas massas atmosféricas, desde as tropicais (Atlântica e Continental), a Equatorial Continental (oriunda da Amazônia Ocidental) até a Polar Atlântica. Em decorrência da localização mediana em relação às células genéticas dos sistemas tropicais e intertropicais o estado é afetado pela flutuação dos sistemas de contato entre estas, as frentes polares (MONTEIRO, 1973).

Segundo este autor (op. cit, p. 16),

Esta situação é perfeitamente compreensível quando se considera o fato de que estamos em plena encruzilhada das correntes tropicais marítimas do E-NE, das correntes polares do sul e das correntes do W-NW do interior do continente.

Esta zona de contato entre as áreas de atuação destes sistemas atmosféricos repercute geograficamente, fazendo com que o território paulista esteja exatamente sobre a transição entre o Brasil meridional, úmido e com temperaturas amenas e o Brasil central, com sazonalidade pluviométrica bem marcada e consideravelmente mais quente (climas megatérmicos) (MONTEIRO, 1973).

Fundamentando-se na interpretação da classificação climática de Köppen (AYOADE, 1983) depreende-se que o clima da região estudada classifica-se como *Cwa* ou *Clima temperado úmido com chuvas de verão e verão quente*. O caractere “C” indica uma tipologia climática *microtérmica*, pois a média de temperatura para o mês mais frio (julho) está abaixo do limiar de 18°C, considerado fundamental para a sobrevivência de certas plantas tropicais. Neste mês a média regional está em 16°C. O caractere “w” anuncia chuvas concentradas nos meses de verão e o caractere “a” indica que a temperatura média para o mês mais quente (janeiro) situa-se acima de 20°C, sendo que a região apresenta média térmica para este mês de 23°C. A média anual de temperaturas está em 20°C (SETZER, 1966).

Segundo Setzer (1966) os totais anuais pluviométricos para a região apresentam-se pouco inferior a 1100 mm, contando o mês mais chuvoso - janeiro - com uma precipitação média entre 200 e 225 mm e o mês mais seco - julho - entre 20 e 30 mm.

Monteiro (1973) pontua que a região da *pércee* do rio Tietê apresenta índices inferiores de precipitação anual média se comparada às regiões adjacentes. Todas as estações do ano caracterizam-se por totais pluviométricos abaixo do registrado no restante da Depressão Periférica e no planalto circundante.

Considerando a classificação proposta por Strahler em 1969, a região insere-se em uma situação geográfica transicional entre os climas *Litorâneo com ventos alíseos* e *Tropical seco-úmido*, uma vez que se caracteriza por marcada influência da massa Tropical atlântica e seus ventos oceânicos provenientes de leste, especialmente nos meses de verão, e da massa Polar atlântica, a qual promove significativas quedas na temperatura nos meses de outono e inverno (as temperaturas mínimas situam-se, em média, no mês mais frio, em torno de 10°C, segundo Setzer (1969), precedidas por intensa precipitação decorrente da passagem de frentes polares. Por outro lado, apesar de frequentes episódios frontais nos meses mais frios, estes são caracterizados por uma evidente redução pluviométrica, configurando um período de estiagem que não chega, contudo, a marcar o clima e a paisagem como nas regiões tropicais secas-úmidas típicas (savanas e cerrados).

Deste modo, a dinâmica climatológica em macroescala oferece condições para que se possibilitem precipitações durante o ano todo na região. Uma grande concentração

pluviométrica nos meses do final da primavera ao final do verão (outubro a março) graças à atuação da massa Tropical atlântica, da massa Equatorial continental e do sistema de baixa pressão intermediário a ambos, a Zona de Convergência do Atlântico Sul, o qual assegura dias consecutivos de constante chuva e temperaturas amenas. Nos meses de outono e inverno (maio a setembro) a atuação das frentes polares garante precipitações ocasionais e de forte intensidade.

## 4. Técnicas

### 4.1. Carta Geomorfológica

As cartas geomorfológicas estão entre os mais complexos documentos cartográficos devido à sua pretensão em agrupar o maior volume possível de informações relativas às estruturas litológica e tectônica, morfometria, morfografia, morfogênese e cronologia de uma determinada área.

Após estudo dos processos de mapeamento geomorfológico através da interpretação de imagens orbitais, das propostas de Tricart (1965) e de Verstappen & Zuidam (1975), e da detalhada análise de cada um destes procedimentos e suas correlações em uma abordagem de síntese, efetuada por Cunha (2001), foi possível uma aplicação cartográfica às formas de acumulação de trecho da bacia do rio Tietê.

Ressalva-se que a aplicação dos métodos propostos pelos citados autores não se fundamentou na fotointerpretação, com análise de pares estereoscópicos, porém a partir da interpretação de imagens orbitais obtidas pelo sistema HRG-SPOT 5, além de cartas topográficas fornecidas pelo IBGE.

Este sistema opera com quatro bandas inclusas em um único arquivo de imagem, atuando na faixa espectral do verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, com resolução nas quatro bandas de 2,5 metros. Optou-se pela interpretação a partir da Banda 4, considerada a mais indicada para a obtenção de dados de relevo em escalas médias.

Tricart (1965, apud CUNHA, 2001) faz a diferenciação entre cartas geomorfológicas de pequena escala, quando inferiores a 1:50.000; cartas geomorfológicas de grande escala, quando superiores a 1:50.000; e cartas geomorfológicas de transição, no caso da escala de mapeamento ser em torno de 1:50.000, caso em que estas podem representar elementos normalmente mapeados em grandes escalas. No presente estudo, a escala adotada é de 1:30.000, inserindo-se o mapa como uma carta geomorfológica de grande escala.

Para Tricart (1965) as cartas geomorfológicas devem conter quatro tipos de informação: *morfometria*, *morfografia*, *morfogênese* e *cronologia*.

A *morfometria* compreende os atributos geométricos da forma de relevo e são fundamentais na apreensão de sua estrutura morfológica. São os elementos do relevo passíveis de mensuração.

Este tipo de informação deve ser extraído a partir da sobreposição das imagens orbitais (ou fotografias aéreas) à base cartográfica digital. Neste trabalho, por não se considerar os elementos de degradação do relevo, optou-se pela simplificação dos dados

morfométricos, incluindo-se apenas o sistema de drenagem, as curvas de nível e os pontos cotados. Permite-se, contudo, em mapeamentos mais complexos, o acréscimo de dados como declividade das vertentes, altura de bordas de terraço, de cornijas ou rebordos erosivos e, até mesmo, a hierarquia da drenagem (CUNHA, 2001).

Faz-se necessário destacar que este trabalho abstraiu da vasta área oferecida pelas imagens orbitais e pela base topográfica apenas o trecho adjacente ao rio Tietê mais suscetível a presentes e futuras oscilações do nível d'água. Desta forma optou-se em delimitar a região de estudo através da curva de nível correspondente a sessenta metros acima do Tietê, isto é, foi considerada para o mapeamento a região coberta pelas três primeiras curvas de nível a partir da lâmina d'água.

A *morfografia* é representada através de símbolos que localizam e espacializam as formas em consideração. Estes devem transmitir ao intérprete a noção de quais processos originaram cada uma das feições, o que constitui a *morfogênese*.

Assim, cada forma foi agrupada segundo sua origem em grandes grupos de modelados, a saber: *Feições Hidrográficas*, *Formas de Acumulação* e *Modelado de Entalhe*.

As primeiras incluem as *margens erosivas* e as *margens deposicionais*, respondentes aos processos de alteração física da superfície associados ao trabalho do rio Tietê, e foram representadas por linhas (alaranjada e marrom, respectivamente).

As segundas englobam as *praias fluviais*, áreas de deposição arenosa associadas às margens deposicionais, que foram cartografadas como linhas amarelas. Os *terraços fluviais*, caracterizados por antigos leitos alçados topograficamente em resposta a um rebaixamento do nível de base regional seguido de reativação no entalhe fluvial, foram representados por polígonos preenchidos com a letra "T". As *ilhas*, definidas como áreas de sedimentação em meio ao leito fluvial em decorrência de uma diminuição local da energia cinética das águas, foram identificadas como polígonos pontilhados de amarelo; os *leques aluviais*, que são depósitos de material detrítico em ocorrência abaixo de um canal ou torrente, foram representados por polígonos mosqueados em cinza; por fim, os *depósitos aluviais*, definidos como um acúmulo de materiais levados pelo curso dos rios, que conformam as planícies aluviais, foram identificados como polígonos preenchidos com círculos pretos maiores e menores alternados (GUERRA; GUERRA, 2008).

Nos modelados de entalhe foram cartografadas as formas de fundo de vale, indicadoras dos processos locais de atuação fluvial. Áreas com forte gradiente vertical e maior energia cinética hídrica indicam predominância de incisão fluvial sobre o perfil, gerando fundos de vale entalhados, representados no mapa por letras "V", repetidamente posicionadas

sobre o traçado do rio, com aresta coincidente ao talvegue e abertura voltada a montante. Áreas com menor gradiente vertical e reduzida energia cinética fluvial indicam predominância de deposição, com geração de fundos de vale planos e definindo área sedimentar que, quando espacialmente reduzida o bastante para não poder ser mapeada à escala deste trabalho, foi representada através de chaves (J), também repetidamente posicionadas sobre o traçado do rio e com abertura orientada a montante.

A *cronologia* consiste na datação de cada uma das formas mapeadas, cuja representação pode ser realizada por meio de cores. Tricart (1965) reconhece a grande dificuldade inerente à obtenção deste tipo de informação devido ao tempo, trabalho e custo despendidos nesta tarefa. Pelo fato do escopo desta pesquisa restringir-se a áreas definidas por feições de acumulação, com um marcante e contínuo retrabalhamento fluvial, optou-se por desconsiderá-la e não proceder à datação cronológica.

O autor (op. cit., apud CUNHA, 2001) recomenda, além das informações acima enumeradas, a representação das *feições estruturais* e dos *dados litológicos*.

Na área de abrangência deste trabalho algumas feições estruturais (falhas normais e diques) foram localizadas em modelados de entalhe e, portanto, não foram mapeadas na carta geomorfológica, sendo, contudo, discutidos e mapeados em tópico referente à geologia local.

Os dados litológicos são, de modo análogo, abordados separadamente, discutidos e mapeados no referido tópico e representados não por tramas coloridas com espaçamento diretamente proporcional ao grau de incoerência da rocha, como propõe Tricart (1965), mas por serem expostos em um mapa geológico, estes dados foram representados através da coloração oferecida pelo Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981).

Para Verstappen & Zuidam (1975, apud CUNHA, 2001) os mapas geomorfológicos são classificados, segundo sua tipologia, em *mapas preliminares*, elaborados em gabinete, a partir da análise de pares estereoscópicos e imagens orbitais; *mapas com fins gerais*, resultado de investigações geomorfológicas puras; e *mapas com fins específicos*, objetivando à resolução de um problema específico.

Depreende-se que a carta produzida através desta pesquisa insere-se no âmbito de “mapas com fins especiais”, uma vez que foi elaborada tendo em ótica a classificação das feições quanto a sua sensibilidade ao óleo, isto é, a partir de uma problemática foi realizada a confecção do mapa geomorfológico.

Para estes autores (op. cit.) a elaboração da simbologia indicativa das feições deve respeitar suas origens. Desta maneira, formas de origem estrutural seriam mapeadas em tonalidade vermelha, formas denudativas em tonalidade marrom, formas fluviais em

tonalidade azulada e feições topográficas e morfométricas em preto (no entanto as curvas de nível e pontos cotados são representados, por convenção, em coloração marrom clara).

Neste trabalho, todavia, como só foram mapeadas as formas de origem fluvial, topográficas e morfométricas e, pela grande discriminação dada às primeiras, deliberou-se pela representação segundo a proposta de Tricart (1965).

Após a seleção das cartas base e das imagens orbitais, procedeu-se à fotointerpretação e edição da carta utilizando-se a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica *ArcMap*.

















LEGENDA	
<b>1. Ação das Águas Correntes e Formas de Origem Fluvial</b>	
<i>A. Feições Hidrográficas</i>	
	Canal Fluvial
	Canal Pluvial
	Margem Erosiva
	Margem Depositional
	Corpo Hidrico
<i>B. Formas de Acumulação</i>	
	Leque Aluvial
	Terraço Fluvial
	Depósitos Aluviais
	Ilha
	Praia Fluvial
<i>C. Modelado de Entalhe</i>	
	Fundo de vale em V
	Fundo de vale plano
<b>2. Morfometria</b>	
<i>A. Precisões Topográficas e Morfométricas</i>	
	Ponto Cotado
	Curva de Nível
<b>3. Convenções</b>	
	Áreas Urbanizadas
	Delimitação da Área

Fig. 05: Legenda do mapa geomorfológico.

#### 4.2. Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006) as Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo (SAO), para serem consideradas documentos oficiais brasileiros devem passar por apreciação junto ao CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia), tornando-se de uso obrigatório no planejamento de contingência, avaliação de danos e planejamento de implementações de resposta a acidentes envolvendo dispersão de óleo em meios aquáticos.

Segundo o MMA (2006) as cartas SAO incluem três tipos essenciais de informação: sensibilidade dos ecossistemas; recursos biológicos; e aproveitamento antrópico do espaço (atividades socioeconômicas). Como já elucidado, este trabalho ocupou-se em avaliar a sensibilidade dos ecossistemas segundo seus parâmetros geomorfológicos, deixando os dois

demais tipos de informação a equipes complementares, a fim de que, ao encerramento da pesquisa, obtivesse-se uma carta SAO de ampla consideração de todos os requisitos ecossistêmicos, deixando cada qual a grupos competentes para a tarefa.

Nas palavras do referido órgão (2006, p. 17) a sensibilidade classifica as seções do setor considerado

(...) de acordo com suas características geomorfológicas, sensibilidade a derramamentos de óleo, persistência natural de óleo e condições de limpeza/remoção. A classificação é baseada em um entendimento completo do ambiente (...), incluindo as relações entre os processos físicos e o substrato (...).

No entanto, Hayes et al (1995) advertem para o fato da cartografia SAO ter sido proposta pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para um contexto de extensos corpos hídricos em que houvesse condições de formação de ondas grandes o suficiente e uma zona de surfe extensa o bastante para a configuração de praias. Para sistemas isentos destas feições deposicionais as margens são caracterizadas por baixios vegetados e depósitos aluviais que figurariam como únicos elementos geomórficos passíveis de classificação em termos de sensibilidade. Deste modo os autores (op. cit.) abstém-se de propor uma classificação para corpos hídricos nestas condições.

Para sistemas de drenagem cujas dimensões apresentam-se aquém do limiar definido pela NOAA para cartas SAO, Hayes, Michel e Montello (1997) propõem, seguindo recomendações da própria citada agência, uma abordagem holística da bacia hidrográfica. Desta maneira, não se classificam componentes individuais, todavia a bacia é subdividida em segmentos (cada qual com características de gradiente, velocidade do fluxo, litologia e tectônica do leito semelhantes) e cada segmento recebe uma classificação única quanto à sensibilidade.

Para objetivar a compreensão e identificação do supracitado limiar, os autores (op. cit.) definem o ponto onde se verificará a modificação na metodologia de mapeamento como o local a montante do qual a largura e a profundidade do canal tornam-se tão pouco expressivos que o derramamento de uma quantidade de combustível equivalente a um tanque de transporte, isto é, vinte mil galões ou 75,8 m<sup>3</sup> seria suficiente para afetar o curso de forma dramática em toda sua extensão transversal e vertical.

Estes trechos frequentemente acomodam seus leitos diretamente no embasamento litológico, entalhando seus vales em gargantas relativamente profundas, com ausência ou diminutas planícies aluviais associadas, gradiente mais acentuado e fluxo mais acelerado em

relação aos trechos senis destes e de outros cursos que divagam em sedimentos inconsolidados deixados pelo rio mestre.

Esta pesquisa, no entanto, propôs-se a um mapeamento integral das feições geomorfológicas do setor pesquisado e a um mapeamento SAO seletivo, em que foi considerado apenas o trecho em que, na escala apresentada (1:30.000) evidencia-se a extensão bidimensional da lâmina d'água, resumindo-se, fundamentalmente, ao segmento submerso pelas águas do rio Tietê e negligenciando-se, por hora, as porções interiores de seus tributários, exceto junto aos quais se visualiza uma extensão considerável, para a escala de mapeamento, dos depósitos aluviais.

As cartas de sensibilidade devem, em adaptação a partir do MMA (2006) subsidiarem todas as magnitudes de derramamentos, desde grandes dispersões em áreas remotas até derramamentos em áreas localizadas em pontos específicos passando por eventos de porte médio, os quais projetam o poluente a uma distância relativamente limitada do foco. Desta forma três níveis de elaboração para cartas SAO foram definidos, a saber:

- Cartas estratégicas, as quais devem abranger toda a área da bacia, assistindo a eventos de grande amplitude e requerente de um abrangente (espacial, temporal e financeiramente) plano de contenção e remoção do material;
- Cartas táticas, confeccionadas para abranger o setor de maior vulnerabilidade a acidentes, tais como o rio mestre da bacia ou cotas até cujo limite eventos de cheias podem transportar o material poluente. O produto cartográfico realizado através desta pesquisa insere-se neste nível de elaboração;
- Cartas operacionais, focalizadas em áreas da bacia consideradas de alta sensibilidade.

Quanto mais sensível uma área, menor deve ser a abrangência de uma carta SAO, devendo as informações cartografadas apresentarem-se em um nível de detalhamento mais pormenorizado, inclusive no que diz respeito a ocorrência de infraestruturas de suporte às equipes de mitigação do acidente.

A necessidade de diversas escalas de mapeamento, ainda, amplia na proporção direta da magnitude do derramamento. Assim, grandes eventos requerem mapeamentos nos três níveis citados, uma vez que exigem um suporte de maior amplitude espacial, o qual embasa planos estratégicos de contingência, envolvendo grandes áreas, equipes e um montante financeiro suficiente para custear soluções tecnológicas mais sofisticadas e com maior tempo de aplicação. Também exigem mapas de detalhes para áreas mais sensíveis aos efeitos do

contato com o óleo, nos quais constem, de modo preciso, informações sobre a morfologia, o substrato, a biota, a ocupação pelo ser humano e sobre a infraestrutura de apoio.

Ainda de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2006) a carta de sensibilidade ambiental deve ser de rápida e simples compreensão mesmo por leitores não habituados com os pormenores técnicos do assunto, isto é, leigos. Assim, o conhecimento embutido nas informações cartografadas deve ser transmitido de forma imediata e não exigir apreciação especializada para serem apreendidos; devem apresentar um número suficiente de informações desde que este não leve a uma sobrecarga visual que prejudique sua leitura; devem usar símbolos condizentes com as feições correspondentes, evitando falsas induções; e deve-se, por fim, ater, como já explanado, para a questão da escala, estando-se em observância à finalidade da carta.

O mapeamento da Sensibilidade Ambiental ao Óleo foi diretamente realizado sobre a carta geomorfológica previamente concluída. Deste modo definiu-se, a partir de Hayes, Michel e Montello (1997), Hayes et al (1995) e Araujo, Silva e Muehe (2006), uma escala cromática em que cada tonalidade associar-se-ia a um índice de sensibilidade variando de 1 a 10, sendo o índice tanto maior quanto maior a sensibilidade.









Este sistema de classificação considera as características geomorfológicas da área, especificamente os fatores grau de exposição à energia hídrica, declividade e natureza do substrato. Enfatiza-se na questão de interrelacionamento “entre os processos físicos, tipos de substrato e biota associada que produzem ambientes geomorfológica e ecologicamente específicos, assim como padrões previsíveis de comportamento do óleo, padrões de transporte dos sedimentos e impactos biológicos.” (MMA, 2006).

Estas características geomorfológicas são fundamentais para que se apreenda a magnitude do impacto e o tempo de residência do poluente, bem como à decisão sobre quais métodos de limpeza devem ser empregados àquele local e àquelas circunstâncias. Os caracteres geomorfológicos determinam também o tipo e a densidade das comunidades viventes no local. (MOSLEY, 1987 apud HAYES, MICHEL e MONTELLO, 1997).

Praias arenosas, a título de exemplo, dadas as baixas condições para a fixação e a escassas ofertas de alimentos são preteridas como habitat e nichos ecológicos, enquanto depósitos marginais alagados são importantes redutos bióticos, reforçando a sua abiótica condição de sensibilidade (baixa energia cinética e complexa imbricação entre elementos vegetacionais e o substrato, desfavorecendo a drenagem natural do óleo).

















Desta forma cada feição geomorfológica no mapa foi, segundo suas características e seu posicionamento hídrico relativamente ao curso principal, redesenhada e colorida segundo os critérios associados a sua sensibilidade na forma como se expõe a seguir:

### *1.2.1. Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo*

1.  Margens construídas com paredões concretados e pontes. Desenhou-se uma linha na coloração roxa (R:119; G:38; B:105) sobreposta às margens artificialmente alteradas por ação antrópica e revestidas por estruturas artificiais, tais como paredões concretados e sobreposta a pontes.
4.  Margens erosivas seguidas por vertentes. Desenhou-se uma linha de coloração azul claro (R:146; G:209; B:241) sobreposta às margens escarpadas desprovidas de depósitos fluviais.
5.  Margens deposicionais com areia (praias fluviais). Desenhou-se uma linha de coloração esverdeada (R:152; G:206; B:201) sobreposta às praias ou bancos de areia.
7.  Ilhas fluviais. Sobrepôs-se um polígono de coloração ocre (R:214; G:186; B:0) sobreposto às ilhas fluviais.
- 9e.  Confluências com coalescência de planícies fluviais. Nos locais onde se verifica o deságue de um tributário junto à lâmina d'água mapeada com coalescência entre seus depósitos aluviais foi inserido um círculo alaranjado (R:235; G:112; B:0).
- 10a.  Depósitos e leques aluviais recobertos por vegetação arbórea. Sobrepôs-se um polígono vermelho (R:176; G:6; B:14) aos depósitos (incluindo leques) aluviais recobertos com vegetação arbórea em trechos de curso navegável, com baixo gradiente e escoamento confinado ou semiconfinado a um único canal.
- 10b.  Depósitos e leques aluviais recobertos por vegetação herbácea. Sobrepôs-se um polígono vermelho (R:255; G:0; B:0) aos depósitos (incluindo leques) aluviais recobertos com vegetação herbácea em trechos alagados ou drenados, junto a curso navegável, com baixo gradiente e escoamento confinado ou semiconfinado a um único canal.
- 10c.  Depósitos e leques aluviais permanentemente recobertos por lagos. Sobrepôs-se um polígono vermelho (R:214; G:0; B:24) aos depósitos (incluindo leques) aluviais recobertos com vegetação herbácea e permanentemente mal drenados, com áreas de submersão na forma de pequenos lagos.

Foram mapeados ainda terrenos urbanizados que alcançam ou aproximam-se às margens da lâmina d'água, tornando-se, por este motivo, vulneráveis a eventuais processos de

contaminação da água por óleo, ou ainda, possíveis agentes desta contaminação; estes setores foram identificados com um traço cinza.

LEGENDA	
<b>Índice de Sensibilidade ao Óleo</b>	
	1
	4
	5
	7
	9c
	10a
	10b
	10c
<b>Informações Morfológicas</b>	
Fundo de vale	 entalhado
	 plano
<b>Convenções</b>	
	Corpo Hídrico
	Canal Fluvial
	Canal Pluvial
	Curvas de Nível
	Ponto Coteado
<b>Informação Adicional</b>	
	Margens Construídas

**Fig. 06:** Legenda do mapa de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (SAO).

## 5. Resultados e Discussão

Reiterando o fato de dependência entre o comportamento de setores de uma bacia fluvial à exposição ao óleo e suas características geomorfológicas, faz-se necessário uma análise da morfografia e da morfologia regional para, em seguida, associá-las às respostas que este contaminante terá no ambiente, auxiliando as equipes de mitigação de impactos ambientais.

A característica fundamental do trecho mapeado refere-se a seu comportamento em resposta ao gradiente energético verificado. Assim, o comportamento longitudinal do rio Tietê neste setor é o de um canal meândrico, com alternância entre margens erosivas abruptas, associadas ao contato com o fluxo de maior energia do rio, e margens de topografia mais suave com formação de praias e extensos depósitos aluviais (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O ser humano, entidade que já não pode mais se eximir de ser considerada um agente emblemático de alterações morfológicas da paisagem, atua como profundo modificador do modelado na região considerada, sendo um importante agente genético de feições de pequena e média escalas. Assim, curvas de nível em vertentes ocupadas pela agricultura (que são predominantes), obras para irrigação e drenagem tanto de campos cultivados quanto de “áreas urbanizadas”, propriedades destinadas ao lazer e veraneio, atracadouros, pequenas mineradoras de areia e aterros para a acomodação de estradas são marcantes na região.

A feição constituída pela ação humana de mais notável evidência, contudo, mesmo em escala de observação reduzida, é, sem objeção, a ocupação mais a montante pelo terreno alagado associado à represa de Barra Bonita, cuja instalação diminuiu a energia cinética do rio Tietê, promovendo uma dinamização da atividade de deposição, redução da dinâmica erosiva e elevação o nível de base regional. Deste modo, seus tributários têm, também, a energia cinética reduzida, contribuindo para um marcante espraiamento das águas e extensão das áreas de deposição, o que promove notável alargamento dos setores de foz, os quais se constituem em trechos de maior sensibilidade ambiental ao óleo.

Este processo é muito mais evidente à margem esquerda do rio Tietê, pois enquanto esta se caracteriza por topografia menos acidentada e um gradiente vertical de menor valor, a margem direita, por estar associada a uma falha inversa de transcurso paralelo ao rio (responsável, ao que tudo indica, pela notável inflexão a oeste no curso do Tietê), apresenta desnível mais acentuado, contribuindo para menor espraiamento da massa hídrica na cobertura do terreno. Assim, se a margem esquerda caracteriza-se por uma notável extensão

da lâmina d'água por sobre a superfície, com marcante extensão deposicional às adjacências, naquela observa-se tão somente uma pouco extensa dissecação por sobre um terreno que rapidamente eleva-se, alcançando em poucas centenas de metros (em planimetria) as cabeceiras das drenagens tributárias ao curso principal.

Segundo Press et al. (2006) as falhas inversas são originadas por forças crustais compressivas em terrenos de litologia rúptil. Assim, em resposta à compressão, o terreno fragmenta-se em dois blocos que se movimentam paralelamente à direção de mergulho, com um bloco solapando o outro.

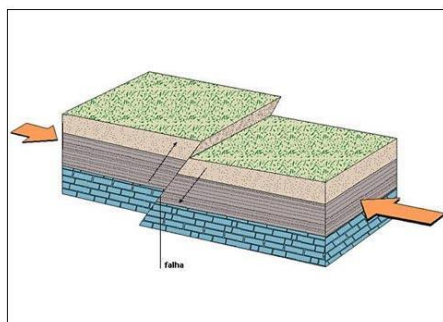


Fig. 07: **Esquema síntese de uma falha inversa.**

**Fonte:** [www.infopedia.pt/\\$falha,3](http://www.infopedia.pt/$falha,3)

Neste caso, tem-se como hipótese que o bloco rebaixado constitui-se naquele setentrional ao plano de falha e que, no entanto, encontra-se atualmente em nível topográfico superior devido a sua maior resistência litológica, possivelmente pela ocorrência local de substrato areno-conglomerático. Desta maneira o curso do rio Tietê viaja pelo que outrora se constituía no bloco soerguido, mas que foi intensamente desgastado com o tempo em resposta à sua litologia mais friável conferida pela Formação Piramboia (Fig. 02), dada sua textura arenosa, fator de favorecimento à dissecação e aplainamento os quais conformam esta superfície como receptora do recobrimento aluvial decorrente do aumento no nível de base regional.

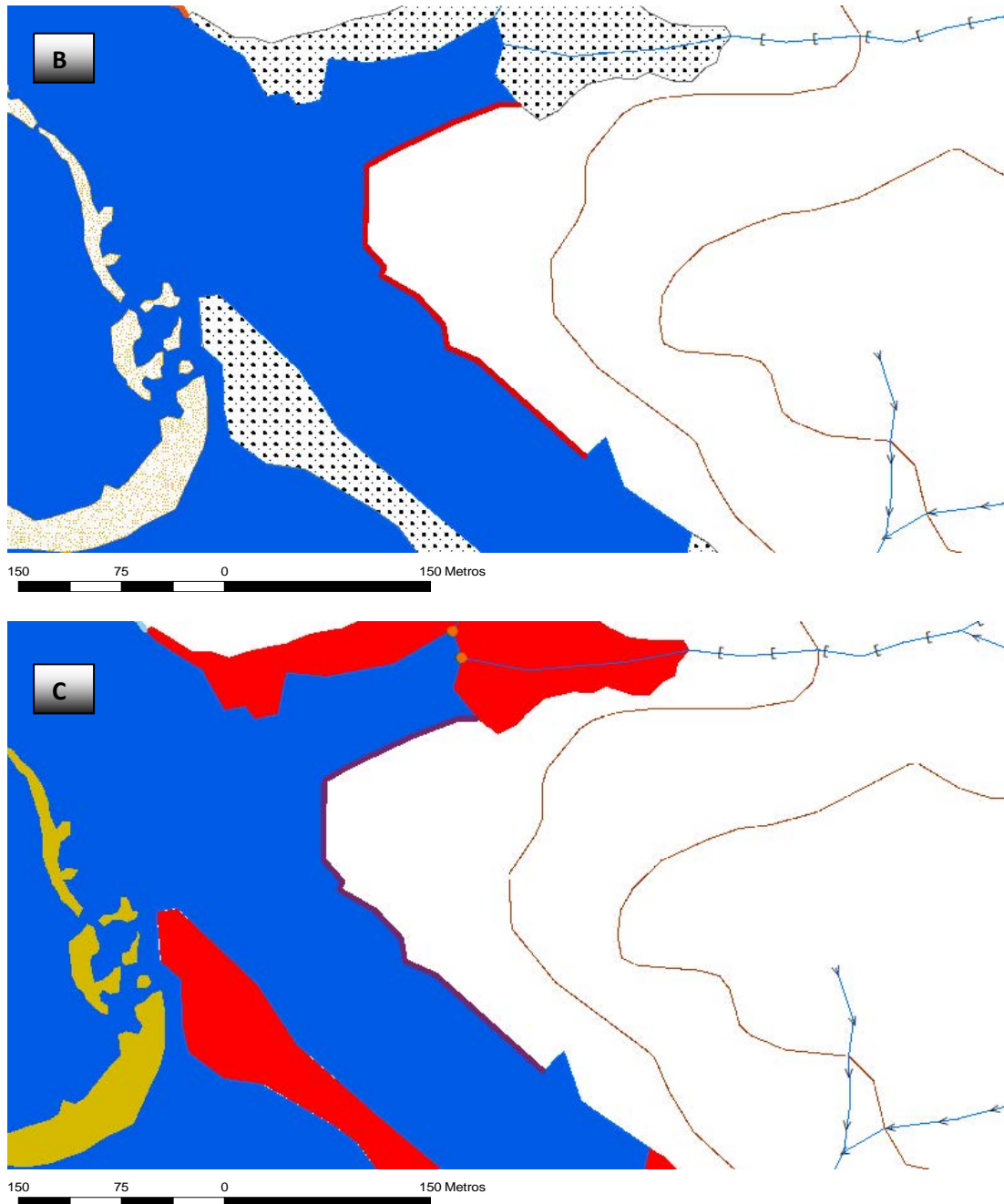
O forte espraiamento das águas em braços tortuosos e de baixa profundidade na margem esquerda é um elemento que leva à especial vulnerabilidade dos ecossistemas, ao possibilitar uma intensa miscigenação e incorporação do óleo aos componentes da paisagem, dificultando sobremaneira a sua limpeza. Ademais, a morfografia bastante complexa deste setor da bacia torna quase impossível que equipes de mitigação percorram todas as ramificações e projeções do corpo hídrico, sendo imprescindível a existência de um estudo que indique as áreas de atendimento prioritário e as áreas de sacrifício.

Foram considerados alguns trechos emblemáticos da área mapeada para uma descrição pormenorizada sobre o comportamento do óleo bruto e seus derivados ao contato com cada feição geomorfológica, estando estas associadas, como já elucidado, a um índice de sensibilidade ambiental específico.

Desta forma, selecionam-se trechos do mapa em que se mostra cada índice de sensibilidade, retoma-se uma descrição geomorfológica a ele associado e as causas que levam cada feição considerada a induzirem o óleo a um determinado comportamento.

Optou-se pela apresentação comparativa entre três recortes dos mapas geomorfológico e SAO para cada trecho analisado. Assim dispor-se-ão, contiguamente, figuras, uma contendo apenas a imagem orbital do trecho, outra apresentando o mapeamento geomorfológico anteriormente confeccionado e, por fim, uma terceira mostrando o mapeamento SAO. Contudo, faz-se necessário reiterar que os mapeamentos completos da geomorfologia e da sensibilidade ambiental para o setor considerado acompanha este texto no CD room anexo.





**Fig. 08:** Sequência de imagens de um recorte apresentando o Terminal Intermodal de Anhembi, visível no centro da primeira imagem, à margem direita do rio Tietê. O quadro A expõe apenas a imagem orbital SPOT-5; o quadro B o mapeamento geomorfológico do trecho; o quadro C expõe o mapeamento de sensibilidade ambiental (SAO). Ver figuras 05 e 06 para legendas dos quadros B e C.

No exemplo acima exposto, a construção do Terminal Intermodal de Anhembi promoveu a retificação e o revestimento em concreto de trecho da margem direita do rio, indicada com um traço roxo. Desta forma o antigo setor deposicional foi aterrado para receber as instalações do empreendimento, sendo o ecossistema ali acomodado completamente suprimido, o que foi acompanhado por um alçamento artificial da superfície topográfica. Assim, a interação margem/corpo hídrico foi consideravelmente reduzida, possibilitando, no trecho, uma passagem mais veloz da água, com interpenetração nula entre solução e solos

marginais e deposição negligenciável de material poluente, fator possibilitante ao segmento configurar-se como área de sacrifício, uma vez que o material retirado de setores mais sensíveis nas adjacências pode ser retido junto a este trecho da margem para sua posterior remoção da água. Do mesmo modo um sistema de redes e flutuadores pode ser utilizado para reduzir a energia e concentrar o óleo presente no fluxo junto à margem.

Pelo exposto e segundo Hayes, Michel e Montello (1997), Araujo, Silva Muehe (2006) e MMA (2006) a ausência de áreas deposicionais marginais e a praticidade com que este trecho pode ser utilizado para a remoção do óleo associam-no a um índice de sensibilidade mínimo ou um (1).

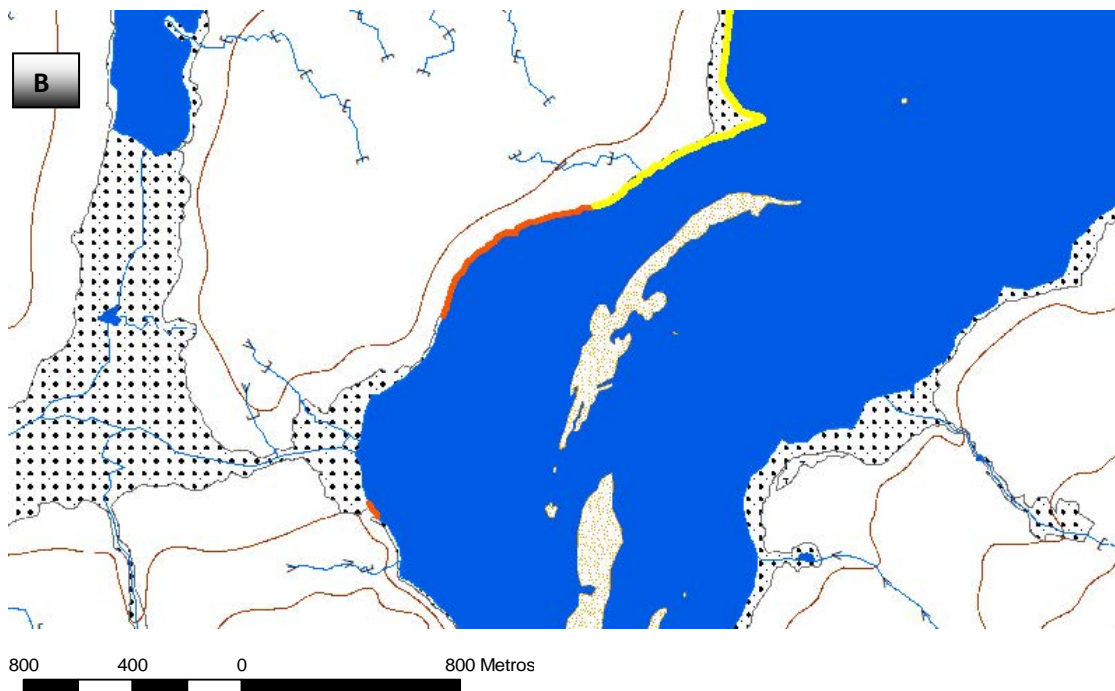
Deve-se considerar, entretanto, que pela natureza da instalação indicada, este é um dos mais importantes pontos de atracamento de embarcações utilizadas no transporte de cargas, notadamente açúcar e álcool, a navegarem pela Hidrovia Tietê-Paraná, o que o torna extremamente vulnerável se considerarmos a movimentação e permanência constantes de equipamentos movidos a hidrocarbonetos.

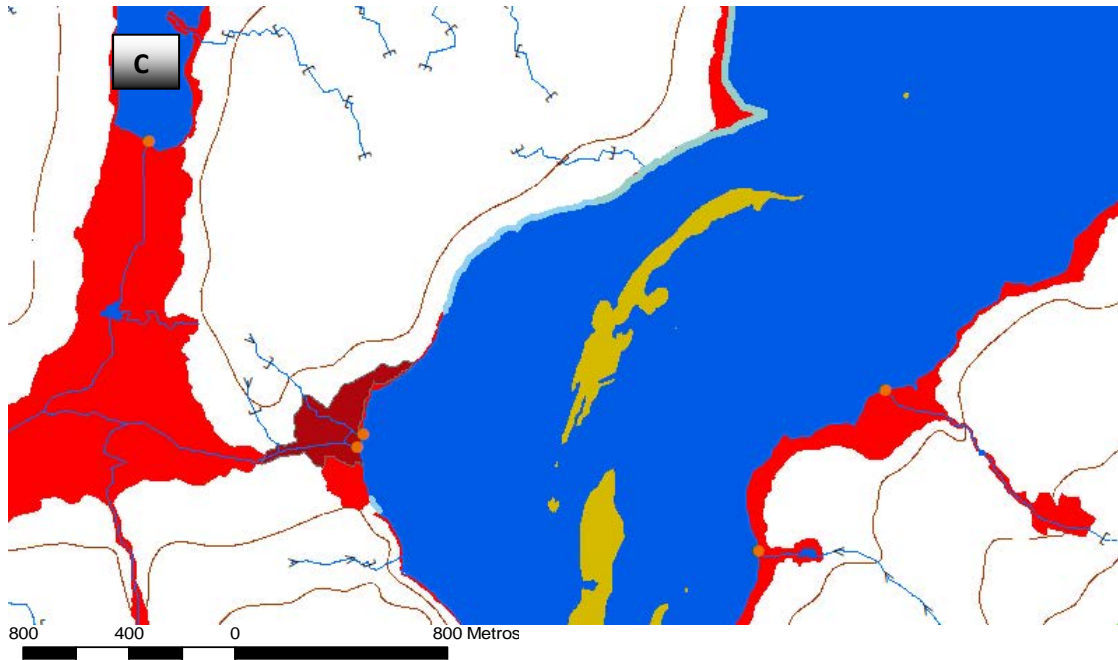
Coloca-se que este índice de sensibilidade, como o mapa em anexo o comprova, foi também utilizado na classificação de margens urbanizadas contíguas ao corpo hídrico do rio Tietê.

Uma questão a ser considerada e melhor visualizada através de análise dos mapas geomorfológico e SAO (enviados em anexo) é que apesar da redução na energia cinética do rio Tietê e de seus tributários, observa-se, na margem direita um embasamento litológico representado pela Formação Teresina (Fig. 02), constituída por folhelhos e argilitos, dificultando, nesta margem, a exumação da superfície e tornando o gradiente sensivelmente mais acentuado, o que impossibilita uma notável penetração da lâmina hídrica a montante através dos tributários. Assim, nestes cursos, nota-se uma maior concentração relativa de perfis encaixados em detrimento dos perfis planos, favorecendo uma diminuição espacial dos setores mais sensíveis a derramamentos de óleo.

Através do exposto, pode-se considerar a margem direita do rio Tietê, no trecho mapeado, como preterível às equipes de resposta a acidentes em relação à margem esquerda, onde se verifica uma penetração muito mais considerável de setores associados a maior sensibilidade ambiental.

O mesmo cenário repete-se a jusante, no trecho de inflexão a oeste do curso fluvial, onde a despeito de continuidade litológica em ambas as margens (Formação Piramboia – Fig. 02), a existência de feições que indicam um possível falhamento acarreta em maior gradiente para a margem dextral, repercutindo a configuração ambiental discutida para o início do trecho mapeado.





**Fig. 09:** Sequência de imagens apresentando um trecho emblemático da complexidade geomorfológica associada às feições deposicionais do rio Tietê. O quadro A apresenta unicamente a imagem orbital, enquanto os quadros B e C os mapeamentos geomorfológico e de sensibilidade ambiental (SAO), respectivamente. Neste pequeno trecho ficam ilustrados a quase totalidade dos índices de sensibilidade ambiental mapeados. Ver figuras 05 e 06 para legendas dos quadros B e C.

Recapitula-se a gênese destas complexas feições deposicionais, bastante comuns na área de estudo, associadas ao barramento, a jusante, para a construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Barra Bonita. Desta maneira, a constituição da represa promoveu uma redução na energia cinética do rio Tietê, como decorrência da elevação do nível de base regional. Esta elevação repercutiu na extensão e interpenetração da lâmina d'água pelos setores rebaixados e de fundo de vale associados aos tributários do curso principal, o que se evidencia, na figura acima, através da grande extensão pelo interior da bacia dos depósitos aluviais. Este fato ocorre especialmente na margem esquerda, onde o menor gradiente vertical possibilita a extensão horizontal do nível de cheia.

Nota-se, a despeito da redução energética, a permanência da atividade modeladora pela água, a qual continua, de forma bastante atenuada, em seu processo de erosão nas margens côncavas, originando margens erosivas (em alaranjado no recorte geomorfológico [B]) e agradação nas margens convexas, gerando margens deposicionais com vastas áreas de depósitos aluviais. Nestas últimas, a contínua recarga por sedimentos arenosos impossibilita, em alguns trechos, junto ao rio, à estabilização de uma flora permanente, conformando as praias fluviais (em amarelo no recorte geomorfológico [B]).

Desta forma, pode-se visualizar, na margem esquerda, uma pequena reentrância cuja gênese associa-se à remoção de sedimentos decorrente da interceptação entre o fluxo de maior velocidade do canal e a margem, levando ao solapamento desta. Assim, geomorfologicamente, verifica-se um trecho marginal desprovido de áreas deposicionais em que a água faz contato diretamente com um talude ou vertente íngreme, resultante de elevado gradiente vertical.

Consequentemente, ao processo de remoção de material aí verificado decorre um recuo acelerado do talude, cujos sedimentos são distribuídos no segmento marginal à jusante, como se nota no mapa geomorfológico da figura 07, onde se estabelece uma área depositora a qual conforma o positivo geomórfico em relação ao trecho de déficit de material, através da gênese de uma proeminência que se estende rio adentro na forma de uma ponta emoldurada por extensos setores deposicionais.

Deve-se, segundo proposta de Araujo, Silva e Muehe (2006), classificar as margens erosivas seguidas por vertentes com sensibilidade quatro (ISA 4). A possibilidade de soterramento do óleo, neste caso, é muito baixa, uma vez que o gradiente energético do fluxo e as características topográficas do terreno impedem a acomodação do poluente no substrato. Há, contudo, especialmente nos momentos de redução no nível da água, a possibilidade do óleo entranhar-se no material descompacto que cede do talude e acumula-se em sua base (MMA, 2006).

Pelas características geomorfológicas e considerando-se o comportamento hídrico junto a estas feições, pode-se tomá-la, da mesma forma como as estruturas classificadas com sensibilidade de classe 1, como área de sacrifício, favorecendo a concentração do óleo removido de setores próximos mais sensíveis.

Deve-se, todavia, fazer a ressalva de que o conceito de “área de sacrifício” é relativo à constituição dos segmentos vizinhos, não se podendo associá-lo a um índice ou conjunto de índices em específico, mas sim considerar o índice proposto para a feição em análise e o índice proposto às feições vizinhas. Em caso de, como no exemplo, um setor mostrar-se com ISA 4 e delimitar-se a feições com ISA 5 e ISA 10, a primeira deve ser classificada como área de sacrifício, pois em caso de poluição com hidrocarbonetos a equipe responsável pela limpeza do local deverá ater-se, primeiramente, aos trechos de maior sensibilidade em detrimento do setor de menor índice. Em caso antagônico, se esta feição, associada a um ISA 4, estivesse delimitada por segmentos de menor sensibilidade, estas atuariam como áreas de

sacrifício enquanto as atenções primárias no sentido de remoção do poluente e limpeza ambiental concentrar-se-ia na feição mais sensível.

O trecho apresentado na figura 07 é bastante caracterizado, também, pela ocorrência de depósitos marginais descobertos ou praias arenosas. No recorte geomorfológico da figura o setor recoberto por praia fluvial pode ser determinado através da margem ocidental traçada em coloração amarela. Estas feições, nos dizeres de Araujo, Silva e Muehe (2006) e MMA (2006) configuram-se como superfícies de declividades entre três a dez graus, permeabilidade moderada dos substratos, com elevada mobilidade dos sedimentos e possibilidade, pelo caráter permeável e móvel das partículas superficiais, de soterramento parcial do óleo até cerca de 25 centímetros de profundidade e são classificadas em índice cinco (5) de sensibilidade ambiental. O óleo soterrado tende a se estratificar, fato o qual exige um manuseio de grande volume de sedimentos (MMA, 2006). O referido documento atenta para o fato de a limpeza, nestes casos, tornar-se difícil, dada a marcante miscigenação entre o poluente e o substrato e chama a atenção para o fato tendencial aos equipamentos de remoção poderem contribuir para uma ainda maior mistura do óleo entre as partículas.

Constata-se, no mapa geomorfológico em anexo, a marcante presença de ilhas no trecho mais a montante. Este fato decorre de um maior distanciamento em relação à barragem da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita, favorecendo um nível de base local inferior e uma extensão menor da lâmina d'água, cuja superfície à cota mais baixa possibilita a emersão de antigos diques fluviais rompidos após o enchimento do reservatório da referida usina. As ilhas apresentam-se descontinuamente, pois sua segmentação indica os trechos onde os antigos diques foram rompidos devido ao fluxo acarretado pela elevação da lâmina d'água. Estes paleodiques, portanto, por não mais atuarem como originalmente e pela sua resposta a eventuais contatos com hidrocarbonetos, comportam-se como ilhas.

Neste trecho as ilhas são feições frequentes no perfil fluvial, escasseando, contudo, à medida que se aproxima da Represa de Barra Bonita devido ao aprofundamento do rio, com submersão dos antigos diques.

Estas feições configuram-se em baixíssimas declividades (inferiores a três graus) e são constituídas por areias e siltes os quais dificultam a percolação do óleo já que se encontram saturados em água. Em decorrência, o material poluente tende a permanecer sem aderência junto à superfície saturada (MMA, 2006).

Segundo o MMA (2006), as ações de resposta, todavia, tendem a ser de muito difícil execução, uma vez que se a permanência do óleo junto à superfície em condições de repouso é favorecida, por outro lado, qualquer perturbação derivada do pisoteio ou pressão exercida pelos equipamentos de limpeza pode levá-lo a um aprofundamento no substrato móvel e inconsolidado. Desta forma optou-se por classificar as ilhas fluviais com um índice de sensibilidade ambiental sete (7)

Ainda na figura 07, nota-se uma frequência significativa de áreas de confluência. Araujo, Silva e Muehe (2006) determinam à zona de confluência entre rios e lagos com coalescência entre depósitos aluviais um índice de sensibilidade nove (9e).

Para Hayes, Michel e Montello (1997) estes trechos dificultam a remoção do óleo por favorecerem sua dispersão entre dois ou mais ramos hídricos e suas áreas deposicionais associadas, além da ausência de margens definidas que atuem como receptoras do óleo coletado e apoio às equipes de limpeza. Ademais, o óleo tende a se dispersar por canais tributários estreitos, dificultado o acesso das equipes através de botes ou mesmo em solo.

Assim, associadas às zonas de confluência percebe-se uma extensão considerável de depósitos aluviais. Tais feições são mais complexas e delicadas em termos de sensibilidade ao óleo, ocorrendo extensivamente por todo o trecho abordado nesta pesquisa.

A elevação regional do nível de base, associada à construção da barragem de Barra Bonita, volta-se a frisar, promoveu uma substancial redução na energia cinética hídrica, levando a uma considerável extensão das áreas deposicionais em direção a montante, junto aos canais tributários do rio Tietê. Este fato mostra-se especialmente presente à margem esquerda do referido rio, uma vez que na margem oposta a presença de uma falha reversa, como já suficientemente explanado, levou a uma perturbação tectônica e acentuação no gradiente vertical.

Em decorrência, torna-se evidente a distinção de duas naturezas de segmentos fluviais, a saber:

- rios com perfil entalhado, de vales afunilados, gradiente acentuado, velocidade superior de escoamento e restritas áreas deposicionais associadas;
- e segmentos de baixo gradiente, baixa energia cinética em consequência de velocidades de escoamento mais modestas e vales amplos acomodando extensos depósitos aluviais.

No recorte da figura 07 verifica-se uma interrupção na continuidade entre os depósitos que margeiam o canal do Tietê e os interiores, à montante, fato recorrente nos tributários à margem direita deste curso e visível, através da figura, no curso superior, lado direito. Ou seja, um trecho do baixo curso destas drenagens apresenta-se desprovido de depósitos ou com forte estreitamento destas feições, as quais reaparecem a montante. Este fato decorre do afogamento dos depósitos de baixo curso após a subida do nível de base local. Logo acima do baixo curso destes tributários a interceptação com o plano de falha provavelmente levou a uma ruptura topográfica, originando um nível de base local que reduz a energia no alto curso, respondendo com um aumento proporcional na deposição.

Ressalva-se que este fato mostra-se em outros trechos mapeados, além deste ilustrado pelo recorte, especialmente nos contatos entre as formações Piramboia e Teresina, em ambas as margens, e nos contatos entre fácies litológicas diferenciadas inseridas em uma mesma formação, como no caso analisado. Outros trechos interceptados por falhas e diques estão igualmente sujeitos a rupturas no perfil da drenagem, levando, localmente, a um maior entalhe em detrimento da deposição.

Deve-se lembrar que quanto menor a cota topográfica mais vulnerável é o ponto ao contato com o óleo devido à maior probabilidade de ser submerso em ocorrências de cheias.

Consequentemente, tanto menor a vulnerabilidade ambiental de um segmento fluvial quanto mais restrita sua área de extravaso e, desta forma, menos evidente os depósitos aluviais associados, que é diretamente proporcional a sua cota topográfica em relação ao leito principal (Hayes, Michel e Montello, 1997).

Os autores (op. cit.) lembram que, por outro lado, segmentos próximos ao nível do coletor principal caracterizam-se por uma ampla área sujeita a submersão durante eventos de cheias, coincidente, esta, com seu recobrimento deposicional e, desta maneira, estas feições acumulativas expõem-se em maior grau a eventuais derrames de óleo, tornando-se mais vulneráveis.

Em termos de sensibilidade ambiental, os setores do baixo curso, isto é, com baixa energia de escoamento e extensas áreas de deposição, tornam-se, evidentemente, mais sensíveis à presença de poluentes como o óleo e seus derivados, dados, além das condições geomorfológicas, a presença de substratos móveis permeáveis e de perfis ecossistêmicos extremamente complexos e delicados (pântanos).

Estes depósitos ora podem ser recobertos com vegetação arbórea, sendo classificados com um índice de sensibilidade dez (10a) (na figura 07 distintos em vermelho escuro), ora podem ser recobertos com vegetação rasteira, recebendo uma classificação (10b), ora podem ser submersos a uma lâmina de água marginal lacustre, estando permanentemente inundados, caso este ao qual se confere o maior índice de sensibilidade ambiental (10c). Tanto o índice 10b quanto o índice 10c foram coloridos em vermelho claro.

Para Taylor et al. (1990 apud Hayes, Michel e Montello, 1997) a vegetação galeria, presente nos setores deposicionais florestados é de fundamental valor à manutenção da dinâmica das comunidades fluviais, armazenando água superficial (nos diferentes estratos arbóreos e no material em decomposição sobre o solo) e atmosférica, bem como controlando os processos erosivos ao possibilitar menor taxa de escoamento superficial e maior infiltração, o que garante o reabastecimento dos volumes hídricos subterrâneos. Atuam como fonte de nutrientes e de alimentos não unicamente para a rica biota local de terra firme, mas como dispersores destes elementos ao abastecimento da fauna e da flora aquáticos.

Nestas superfícies, cobertas por estratos arbóreos, uma eventual contaminação por óleo, além de ser extremamente nociva ao delicado equilíbrio ecológico presente, exporia o agravante de se imbricar por entre o emaranhado de componentes vegetacionais diversos e pela espessa liteira que recobre o solo, tornando-se um habitat de difícil limpeza a despeito de os sedimentos, saturados em água, dificultarem a percolação do poluente em subsuperfície (Hayes, Michel e Montello, 1997). Além disso, a remoção natural do óleo, pelos condicionantes geomórficos de baixa energia, seria extremamente demorada.

Para o MMA (2006) os ambientes deposicionais, sejam recobertos por estratos arbóreos (vegetação galeria), sejam recobertos por estratos arbustivos constituem-se em “verdadeiras armadilhas de retenção de óleo” (p. 55), sendo que o substrato friável e a dificuldade de acesso “tornam a limpeza impraticável” (p. 55). Para seus autores não deve haver nenhuma iniciativa neste sentido, uma vez que esforços de remoção do poluente e limpeza da área invariavelmente introduzir-no-iam às camadas mais profundas, agravando o dano. Deve-se, pois, esperar pela vagarosa remoção natural do poluente por biodegradação anaeróbica.

Adams et al. (1983 apud Hayes, Michel e Montello, 1997), no entanto, enfatiza que estes ambientes, especialmente os pântanos (recobrimento arbustivo) devem ser considerados prioritários no planejamento de mitigação de acidentes devido a sua especial sensibilidade e

não podem ser deixados a uma degradação natural lenta. Devem ser, ao contrário, ecossistemas prioritários sobre todos os demais na consideração de medidas a serem tomadas para uma reconstituição da área atingida pelo derrame.

Os mapas geomorfológico e SAO em anexo, apresentando o mapeamento integral deste trecho da bacia do rio Tietê, evidenciam o trabalho de um curso fluvial próximo ao nível de base, correspondendo a um terreno de baixa declividade e que inicia um traçado sinuoso a fim de dispersar sua energia. Este processo exorta um marcante retrabalhamento permanente em suas margens, permitindo que o fluxo divague através da planície fluvial.

Este mecanismo de divagação foi, todavia, obstado após a elevação regional do nível de base, fazendo com que a lâmina d'água preenchesse praticamente toda a planície, agora submersa.

Pode-se, portanto, inferir que a atividade modeladora no trecho tenha sido reduzida bastante após a construção da UHE Barra Bonita, uma vez que o rio, nos limites de sua planície, já não possui a energia com que outrora trabalhava. Por isso, em um ambiente em que se esperaria a ocorrência de margens (côncavas) erosivas, observa-se um progressivo aumento da deposição de materiais trazidos pelo fluxo, levando a um processo ambivalente de erosão durante as cheias e deposição durante a vazante.

Se as margens erosivas mostram uma evolução tímida após a elevação do nível de base, as margens deposicionais, de forma antagônica, estão em acelerada expansão. Assim, são vistos, em ambas as margens, depósitos aluviais progressivos, de pequena expressão junto às margens côncavas e de notável extensão nos setores convexos.

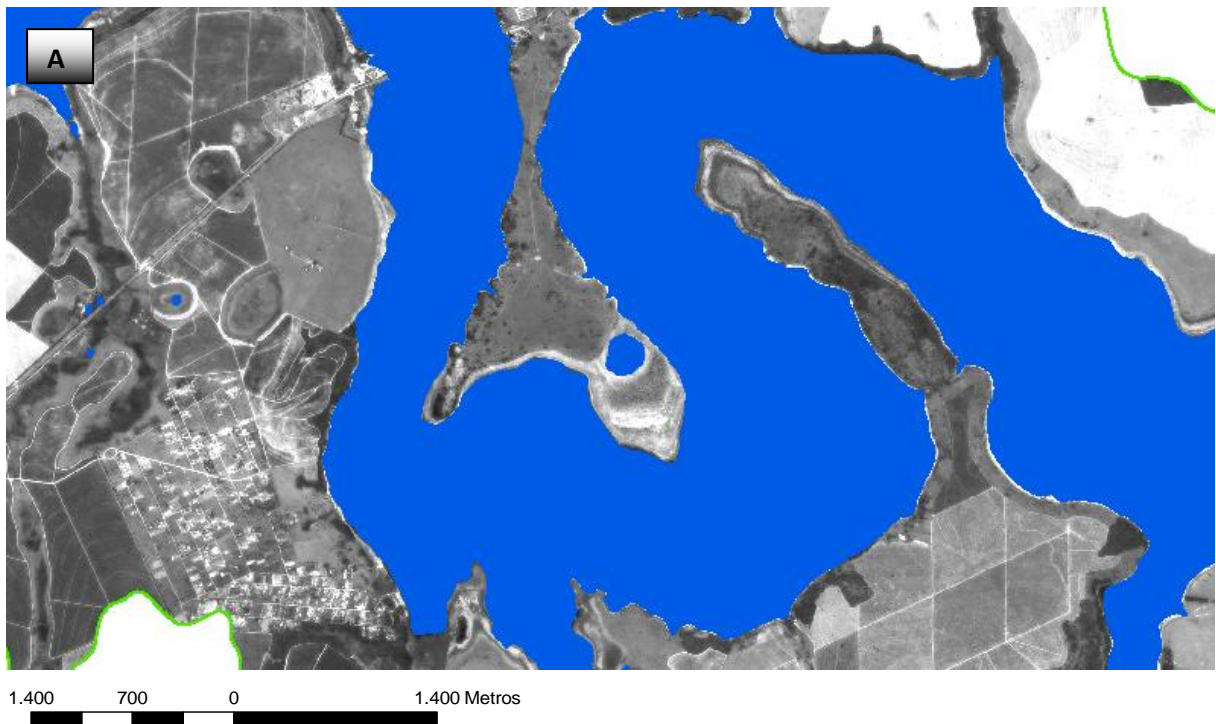
Decorre desta evidência que poderia ocorrer uma redução na largura do curso fluvial e à medida que a extensão transversal do rio diminui, sem o acompanhamento simultâneo na redução da vazão, este, sempre em busca do equilíbrio, aumenta as variáveis velocidade e profundidade, com elevação da energia cinética no trecho, o que acarreta em uma retomada erosiva das margens côncavas e diminuição da deposição nas margens convexas, possibilitando ao sistema fluvial a manutenção do equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1980).

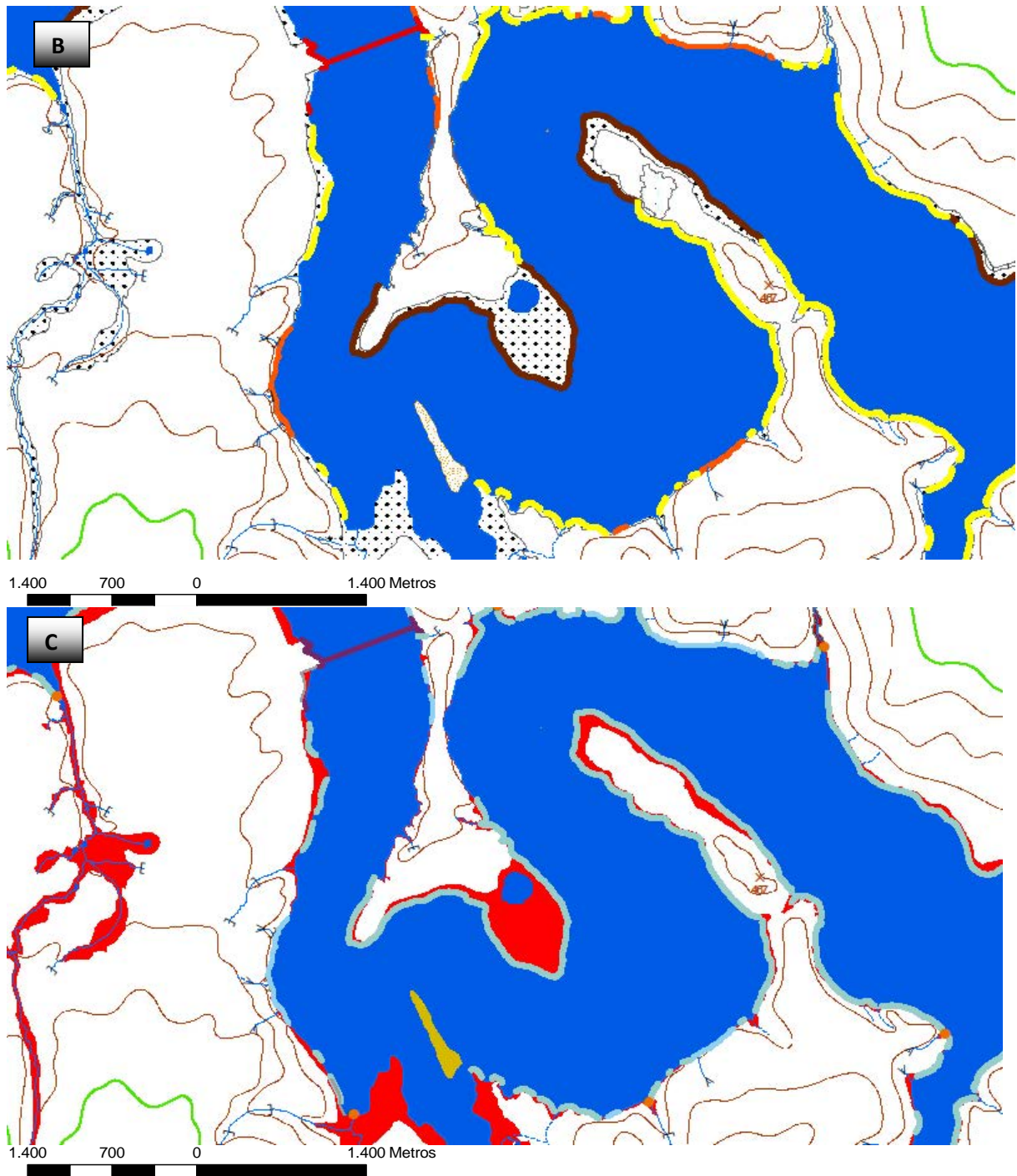
É importante ressaltar que este equilíbrio não é, contudo, estático. Ou seja, não ocorre um ciclo pressupondo uma sucessão dos eventos descritos, mas estes estão em simultânea ocorrência, em equilíbrio dinâmico.

Pode-se inferir que em uma condição na qual o leito do rio estivesse submetido aos processos geomórficos naturais ocorreria uma distribuição muito mais explícita de margens erosivas e processos de retrabalhamento marginal, com menor extensão de depósitos aluviais

e distribuição bem mais modesta de feições com índices de sensibilidade ambiental elevados. Contudo, após a instalação da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita e o represamento das águas do Tietê, verificou-se uma radical redução na energia cinética fluvial seguida pela diminuição no retrabalhamento das margens do rio. Deste modo a extensibilidade de feições erosivas é retraída, cedendo espaço às feições de deposição, associadas a índices de sensibilidade ambiental mais elevados.

A figura abaixo procura ilustrar este fato, expondo, para um trecho, o alargamento da lâmina d'água e a maior sensibilização ambiental ao óleo associada ao entulhamento do perfil por depósitos aluviais.





**Fig. 10:** Nesta sequência de imagens observa-se que em setores onde se esperaria uma atuação marcante de processos erosivos, como no estrangulamento do istmo ao centro da figura, são, após a elevação do nível d'água, submetidos a processos deposicionais, uma vez que agora a dinâmica fluvial não conta mais com energia suficiente para manter permanente a remoção de material do talude, permanecendo este predominantemente desconexo ao fluxo hídrico e apartado deste por um estreito cordão deposicional. Assim, um trecho em que se esperaria menor sensibilidade ambiental (ISA 4), apresenta-se com elevada sensibilidade (ISA 10). A elevação do nível de base regional é responsável pela interrupção no entalhamento dos tributários do Tietê e sua conversão em canais extensivamente depositores, com decorrente aumento da área coberta por depósitos aluviais e conversão deste trecho da bacia do referido rio em uma área de especial sensibilidade ambiental. Ver figuras 05 e 06 para legendas dos quadros B e C.

## 6. Considerações Finais

O presente trabalho buscou contribuir para a cartografia geomorfológica e para o mapeamento da sensibilidade ao óleo (SAO) de um setor do fundo de vale da bacia do Rio Tietê, especificamente o início do trecho alagado após a construção da barragem da UHE Barra Bonita. Desta forma, procurou-se analisar as possíveis respostas, em termos de sua sensibilidade, de cada feição do relevo associado ao trabalho fluvial a eventuais derramamentos de óleo no ambiente.

Logo, a cada elemento foi atribuído um índice diferenciado de sensibilidade, segundo suas características genéticas e morfológicas. Por exemplo, para um depósito aluvial periodicamente inundado, levou-se em consideração o substrato sedimentar inconsolidado, além do baixíssimo nível na energia cinética hídrica, que lá permanece mais no sentido de estabilização dos elementos dissolvidos ou suspensos do que no de sua remoção. Assim para esta feição foi atribuído o máximo índice de sensibilidade ambiental (10), uma vez que favorece a permanência do óleo no meio.

Para feições como margens erosivas foram atribuídos índices de menor sensibilidade, já que são formadas pela degradação física em regiões das bordas fluviais submetidas à elevada energia cinética das águas, a qual favorece uma acelerada e espontânea remoção do óleo, que por sua vez será acumulado em áreas de menor energia, tais como os citados depósitos. A menor sensibilidade contribui para a definição de uma área de sacrifício, isto é, aquela que deve ser preterida em uma ação de limpeza em favor de outra, mais sensível e receber desta o material poluente para posterior remoção. Foi, neste sentido, que se buscou identificar quais das feições mapeadas podem ser consideradas áreas de sacrifício e quais devem ser priorizadas pelas ações de resposta a acidentes.

O trecho pesquisado mostrou-se, sob o ponto de vista geomorfológico, consideravelmente sensível a um recobrimento de poluentes, em decorrência de seu caráter de baixo gradiente topográfico associado à elevação do nível de base regional após a instalação da barragem de Barra Bonita.

Por isso as feições correlacionadas à remoção de material estão muito mais restritas em relação às aquelas associadas à deposição, tornando-se este um fato a ser considerado com especial atenção pelos órgãos governamentais responsáveis pelo destacamento de equipes especializadas na mitigação de impactos ambientais derivados do derrame de óleo.

Uma característica no mapa que imediatamente apela à atenção do observador é a profunda extensão das feições deposicionais (em vermelho), penetrando em direção às

nascentes de muitos dos tributários do curso principal. Se na maioria dos segmentos fluviais desta compartimentação geomorfológica do Estado de São Paulo, derivada de um marcante processo recente de circundesnudação (AB'SÁBER, 1949), observa-se a predominância de feições erosivas com restritos depósitos marginais e alveolares, aqui, constatou-se o oposto, como consequência do referido represamento do rio Tietê, justificando a escolha deste trecho para um mapeamento geomorfológico e de sensibilidade, o qual, além desta característica excepcional, conjuga-se a um outro fator de vulnerabilidade que é sua utilização como uma das mais importantes rotas hidroviárias do país, além de perpassar, em seu alto curso, a oitava mais populosa área metropolitana do planeta (São Paulo).

Pelo exposto, evidencia-se o caráter de imprescindibilidade conferido ao mapeamento geomorfológico, pois na ausência deste não se pode pretender avaliar a sensibilidade das feições. Reitera-se, mais uma vez, que os atributos geomorfológicos da área em análise não esgotam os requisitos necessários ao empreendimento de caracterização da sensibilidade, pois esta depende, também, de outros fatores, tais como o acervo biótico de cada setor e sua utilização como local de reprodução, alimentação etc., além da apropriação de cada setor e de suas imediações por diferentes atividades antrópicas, tarefa que está sob responsabilidade de outros pesquisadores da equipe.

## 7. Referências

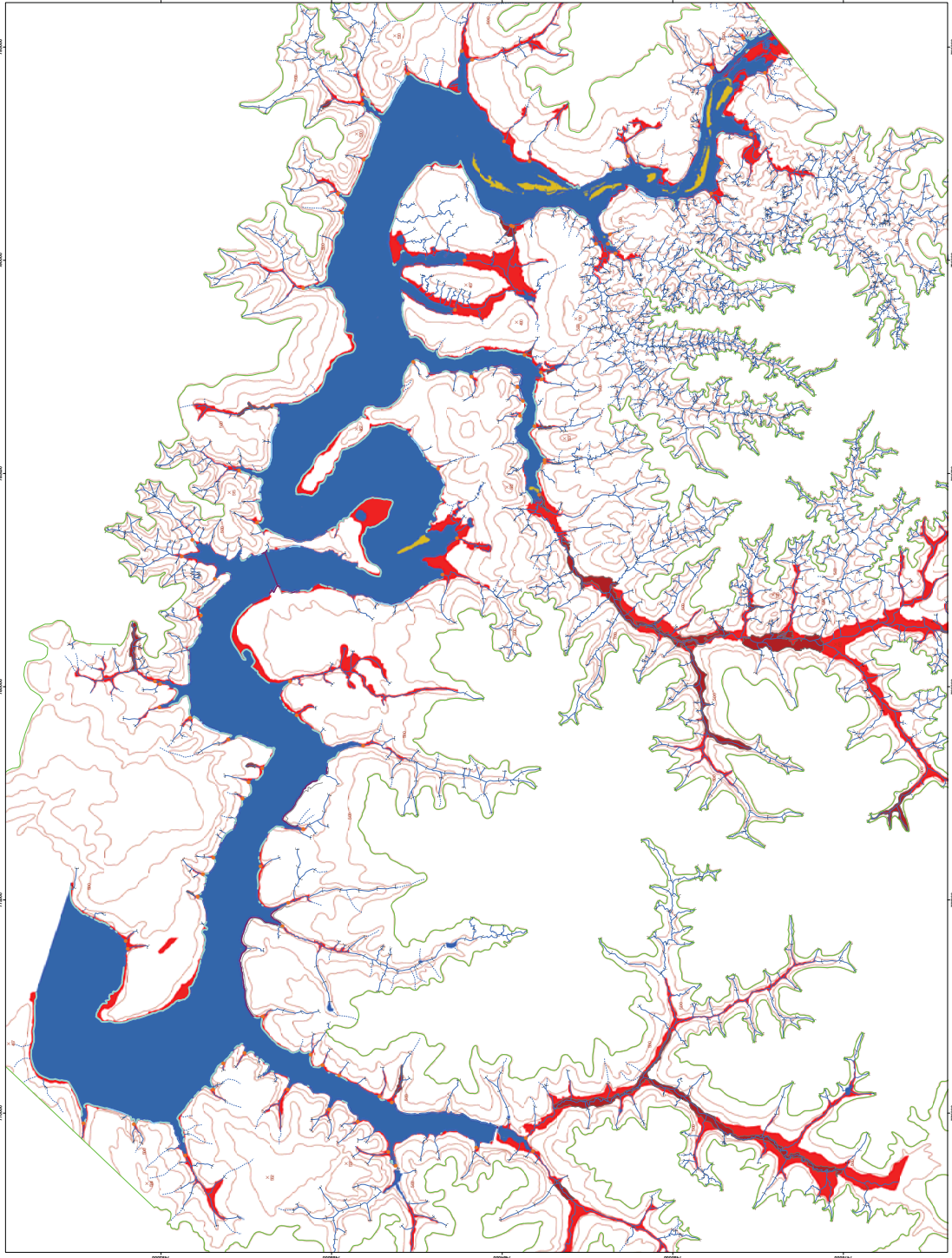
- ALMEIDA, F.F.M. de. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Universidade de São Paulo: Instituto de Geografia, 1974. 99p.
- ARAÚJO, S.I.; MUEHE, D. C. E. H.; DA SILVA, G. H. **Manual Básico para elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e Estuarinos**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2002. 133p.
- ARAÚJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. **Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006. 166p.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332 p.
- BARRY, Roger Grahan. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 512 p.
- BEAUMORD, A. C.; FERREIRA M. F. **Mapeamento da Sensibilidade Ambiental à Derrames de Óleo nos curso de água da Bacia do rio Canhanduba, Itajaí – SC**. Itajaí: UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, 2008.
- CARPENTER, Modelyn; YOSHOKA, Gary. **Characteristics of Reported Inland and Coastal Oil Spills**. Fairfax, Virginia: IFC Consulting, [199-?].
- CASTRO, Angélica Félix de et al. Desenvolvimento e Aplicação de um Banco de Dados Geográficos na Elaboração de Mapas da Morfodinâmica Costeira e Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo em Áreas Costeiras Localizadas no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, nº02 supl, p.93- ?, 2003.
- CERVANTES, I. S. et al. Identification of Environmental Vulnerable Areas with Priority for Prevention and Management; [S. I.], v.92, 2011.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 188p.
- CUNHA, C. M. L. **A Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**, 2001. 128f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- DIAS-BRITO, Dimas; LIMA, Miguel Vieira de; MILANELLI, João Carlos Carvalho. Mapeamento da Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo em Ilhabela,

- São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 60, nº 02, p.145-154, 2008.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2006. 412p.
- GUERRA, Antonio Teixeira; GUERRA, José Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 648 p.
- HAYES, M. O. et al. **Identifying and Mapping Sensitive Resources for Inland Area Planning**, Inc, 1995.
- HAYES, M. O.; MICHEL, J.; MONTELLO, M. T. **The Reach Sensitivity Index (RSI) for Mapping Rivers and Streams**. Columbia: Research Planning, Inc, 1997.
- HAYES, M. O. et al. **Integrated Planning from the Mountains to the Sea – Environmental Sensitivity Mapping in the Caribbean**. Columbia: Research Planning, Inc, 2001.
- IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2v.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 107p.
- MORELLI, J. N. **Conheça o Petróleo**. 2º ed, São Paulo: Melhoramentos, 1966, 152p.
- IPT. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Pró-Minério: PROMOCET, 1981. 2v.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas**. São Paulo: USP, Instituto de Geografia, 1973. 130 p.
- NUNES, B. A. et al. **Manual Técnico de Geomorfologia (Manuais Técnicos em Geociências nº05)**, Rio de Janeiro: IBGE, 1995.
- OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA; Campinas: IAC, 1999. 1 mapa em 4 seções + 1 caderno legenda expandido: color. Escala 1:500.000.
- PINCINATO, Fábio Luciano. **Mapeamento da Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de óleo para a Região Costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo (SP), com Uso de Modelagem em SIG de Sistema Especialista Baseado em Conhecimento e Árvore de Decisão**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e

- Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2007.
- PRESS, Frank [et al.]. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.
- RIEDEL, Paulina Setti; CUNHA, Cenira Maria Lupinacci da. **Tabela de feições: índices de sensibilidade ao derramamento de óleo**, 2012.
- ROMERO, Ágata Fernandes et al. Mapa da Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo – Um Estudo de Caso na Bacia de Santos, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 63, nº03, p.315-332, 2011.
- ROSS, J.R. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 8. ed. São Paulo: Contexto, 2010. 85p.
- SETZER, José. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná: CESP, 1966. 61 f + mapas.
- VERSTAPPEN, H.T. **Remote Sensing in Geomorphology**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1977. 214p.
- WIECKZOREK, A. **Mapeamento de Sensibilidade a Derramamentos de Petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso – PEIC e Áreas do Entorno**, 2006, 143f. Tese (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

ANEXO

**MAPA DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO DAS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE SETOR DO BAIXO CURSO DO RIO TIETÊ (SP)**



LEGENDA	
Índice de Sensibilidade ao Óleo	
1	2
4	5
7	9c
10a	10b
10c	

Informações Morfológicas	
Fundo de vale	entalhado
	plano

Convenções	
	Corpo Hídrico
	Canal Fluvial
	Canal Potencial
	Curvas de Nível
	Ponto Costado

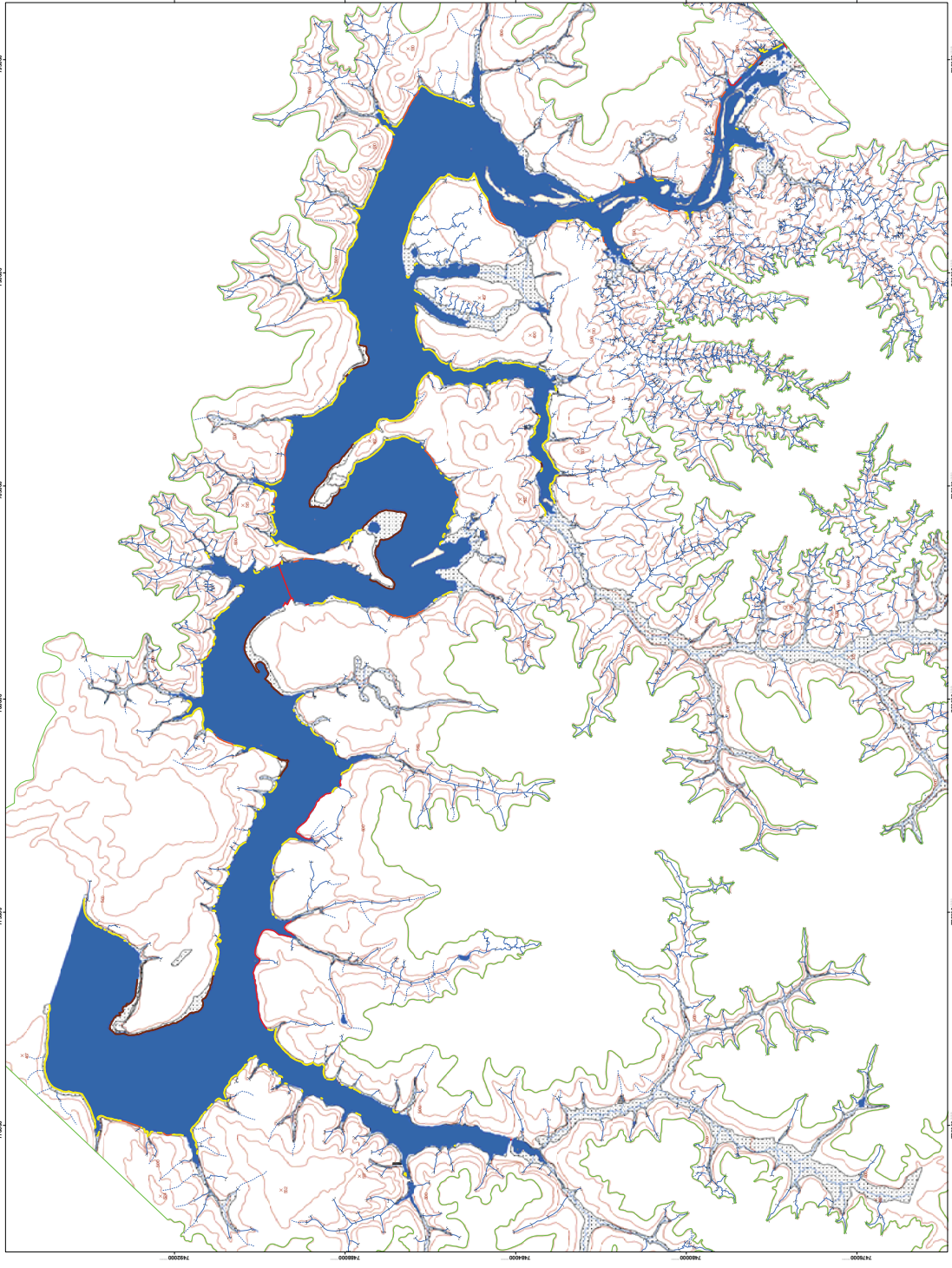
Informação Adicional	
	Margens Concretadas

2.000 1.000 0 2.000  
 Metros

Projeto: Universidade Transversal de Mercaderes;  
 Universidade do Estado de São Paulo - UNESP - Instituto de Geografia - IG  
 Alago (MG); Fase 02S; Imagens Orbitais: SPOT - 5,  
 Imagens Orbitais: Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente do  
 Estado de São Paulo.  
 Data: 2010.  
 Autoria: CUNHA, C. M.

# Mapa Geomorfológico de Trecho do Vale do rio Tietê - SP



LEGENDA	
<b>1. Atividade Águas, Condições e Formas de Ocorrência Fluvial</b>	
<b>A. Fisiologia Hidrográfica</b>	
	Canal Fluvial
	Margem Escavada
	Margem Depressional
	Corpo Hélico
<b>B. Formas de Acumulação</b>	
	Leque Aluvial
	Depósito Aluvial
	Ilha
	Praia Fluvial
<b>C. Morfologia de Entalhe</b>	
	Fundo de vale em V
	Fundo de vale plano
<b>2. Morfometria</b>	
<b>A. Precipitações Topográficas e Morfométricas</b>	
	Ponto Costeiro
	Curva de Nível
<b>3. Convenções</b>	
	Área Urbanizada
	Delineamento da Área

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso  
 Realizado em: 2025  
 Autor: [Nome do Autor]  
 Orientador: [Nome do Orientador]  
 Instituição: [Nome da Instituição]

